

Bottom-up Kostenrechnungsmodell RTR_ACCNET

Infrastruktur-Emulatoren und NGA-Modell



im Auftrag der Österreichischen Rundfunk und
Telekomregulierungs- GmbH

P. Bachhiesl, M. Prosegger

17. Juni 2015

FH-Kärnten Forschungs-GmbH

- Transferplattform der FH-Kärnten
- 5 Geschäftsfelder
- KKF Netzwerkoptimierung und –simulation
 - Modellierung von Datenfestnetzen im Accessnetzbereich
 - Kostenoptimalität (planerische Aufgabe)
 - Grenznutzen-Optimalität (strategische Aufgabe)
 - seit 2004 (F+E Thema, gefördert), ab 2009 Erlös-finanziert
 - Referenzkunden: A1 Telekom Austria, RTR GmbH, Linz AG, Colt Telekom (München), O2 (München), NetCologne (Köln) u. A.

Inhalte

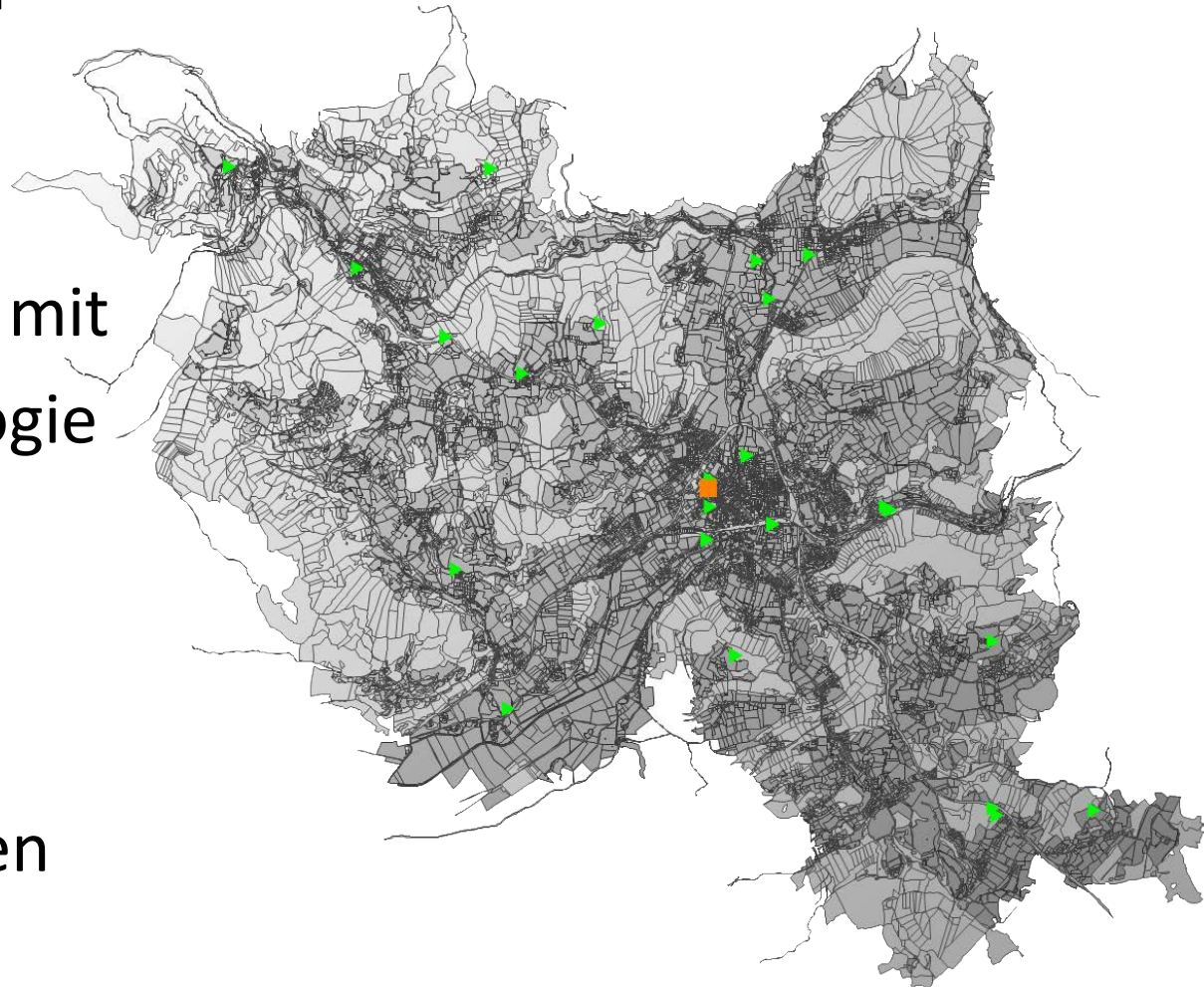
- RTR_ACCNET, Grobspezifikation
- Workflow – technische Umsetzung
- Daten und Parameter
- Modelle und Ergebnisse
- Systemintegration und User-Interaktion
- Diskussion

Grobspezifikation – Ausgangsdaten

Gegeben:

Anschlussbereich
(Wahlamtsbereich) mit

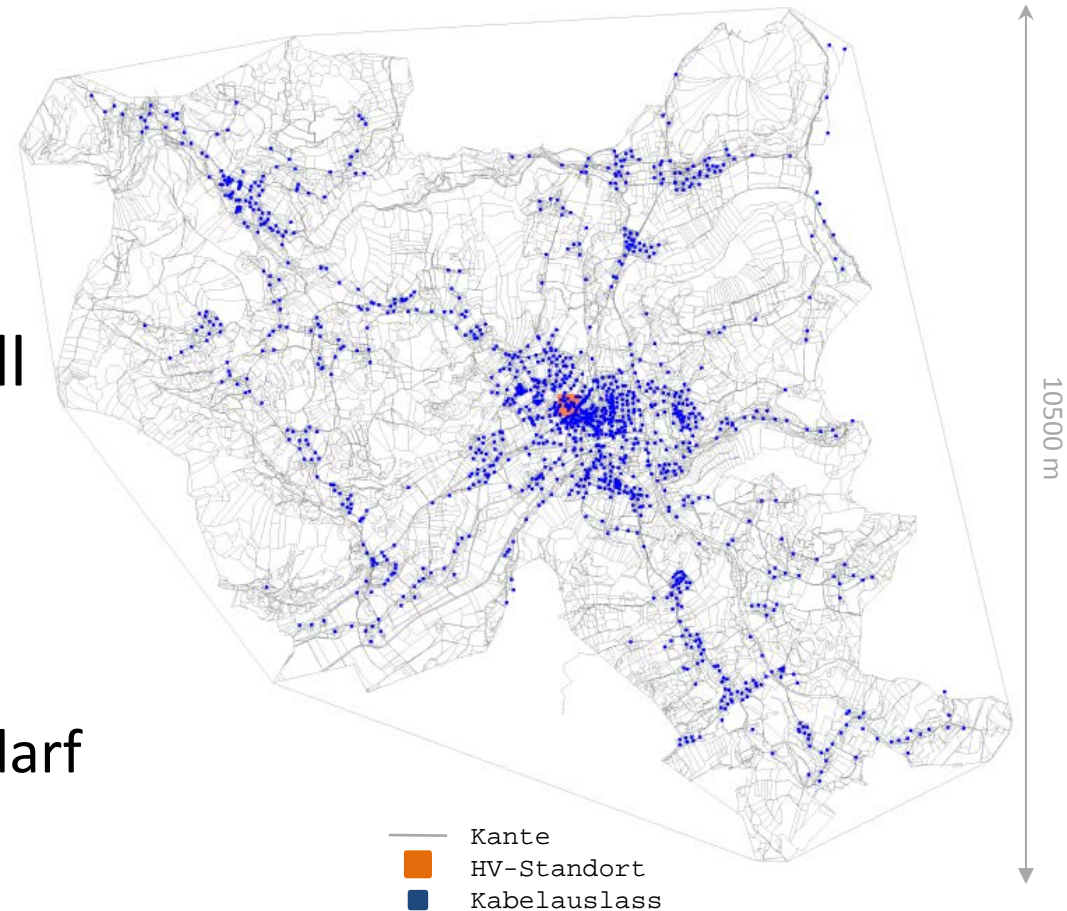
- räumliche Topologie
- Landnutzungen
- Demoskopie
- Hauptverteiler
- heterogene Daten



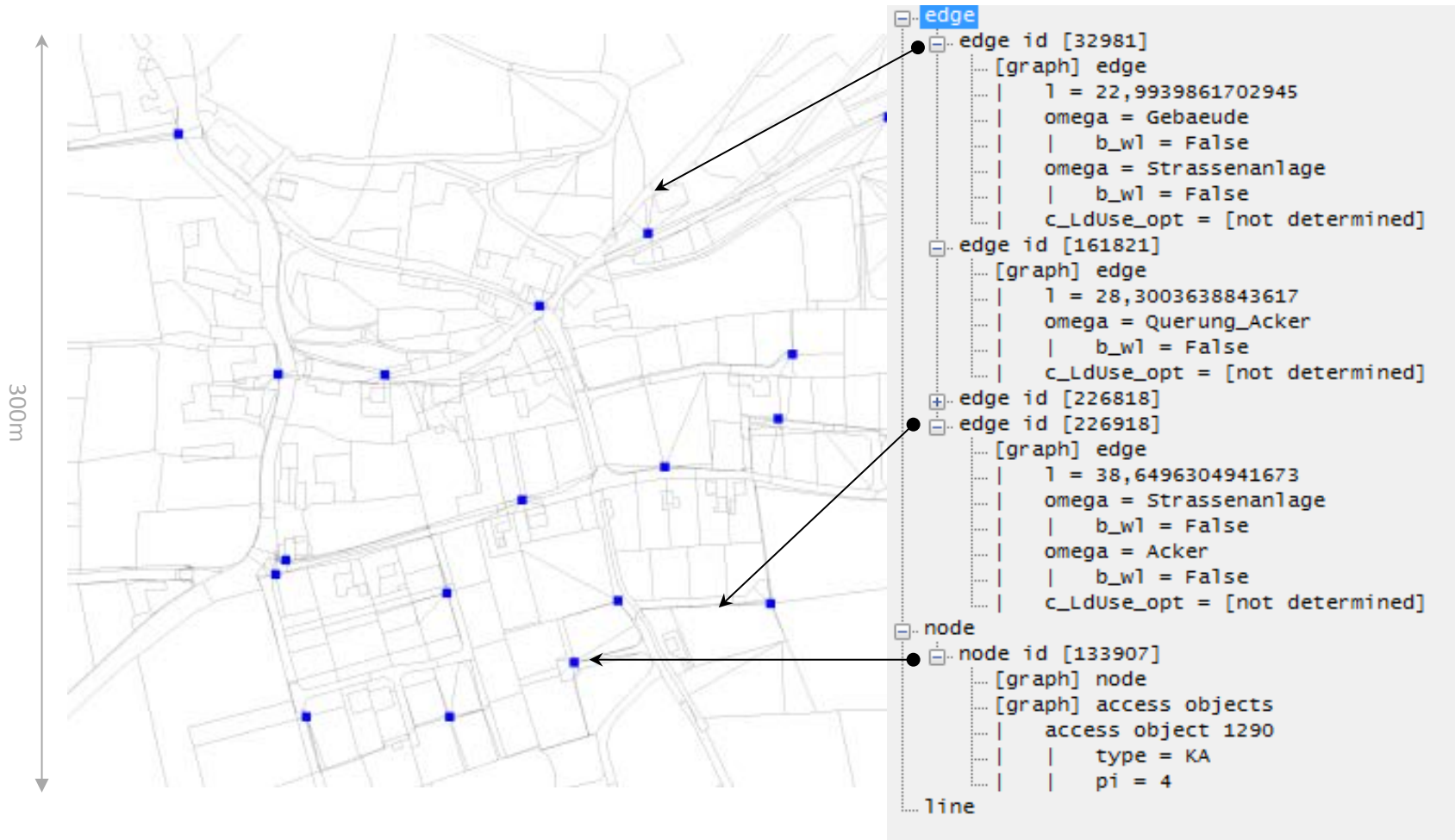
Grobspezifikation – Graph

Gesucht: normiertes
Datenformat
(Netzwerkgraph)

- Knoten- Kantenmodell
- Attribuierungen:
 - Positionsabbildungen
 - Landnutzungen
 - Kabelauslässe mit Bedarf
 - HV-Standort (HV)



Grobspezifikation – Graph

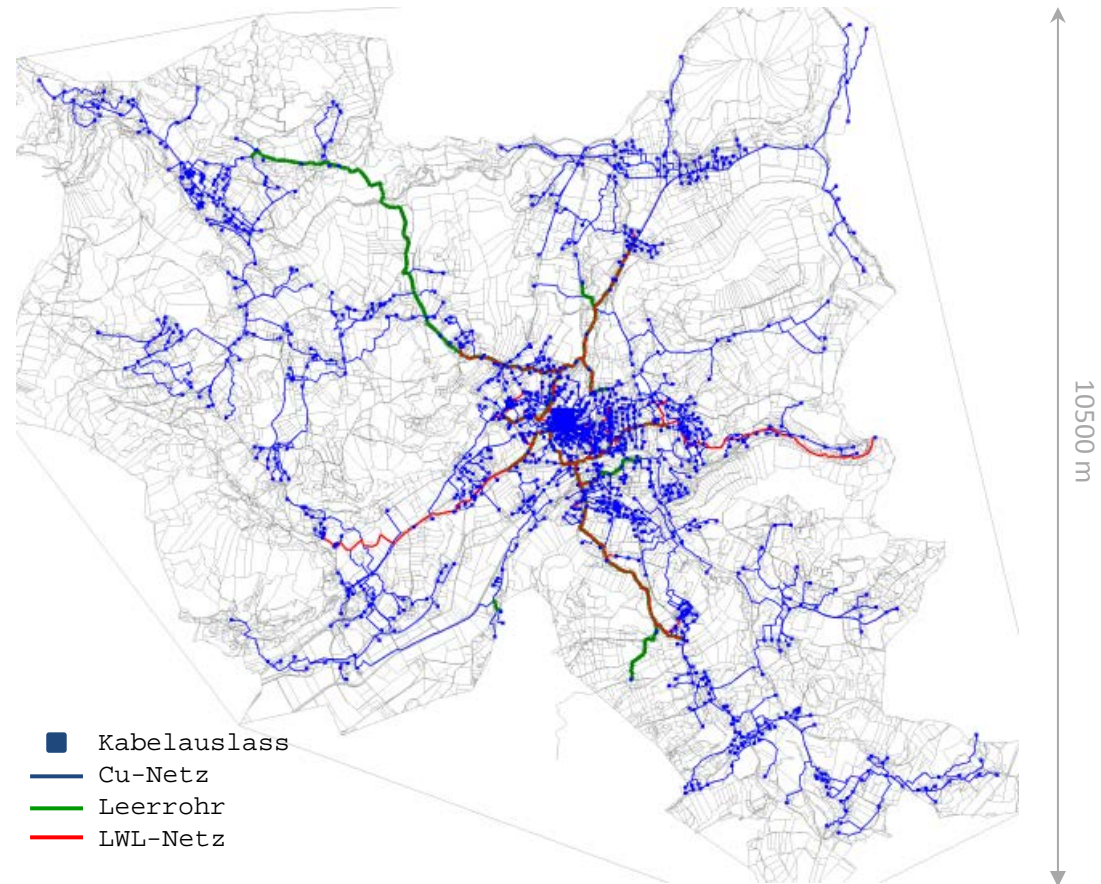


Grobspezifikation – existierende Infrastruktur

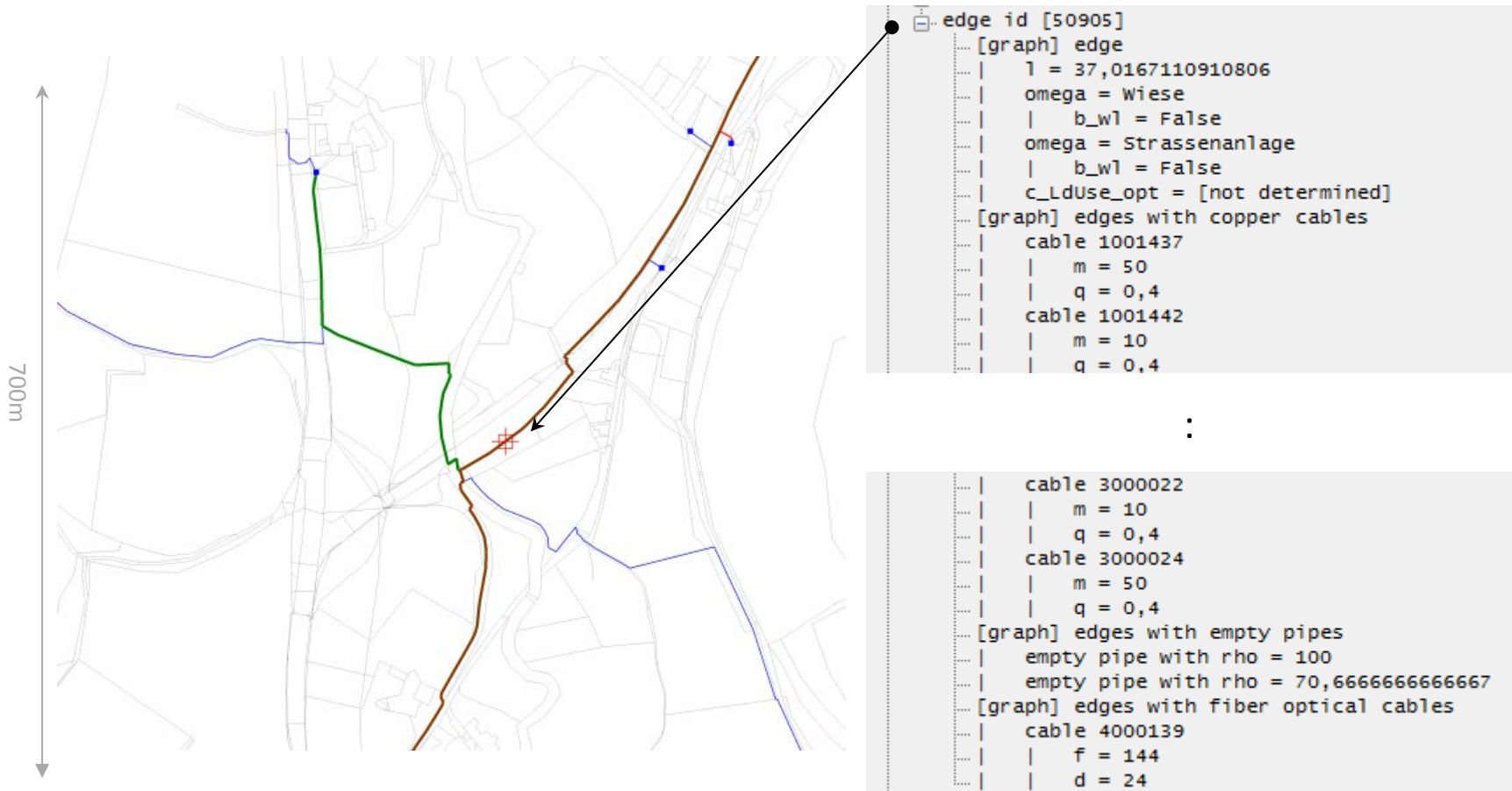
Gesucht:

existierende
Festnetz-
Infrastruktur

- Cu-Netzwerk
(POTS-ISDN)
- Leerrohr-
Infrastruktur
- LWL-Infrastruktur



Grobspezifikation – existierende Infrastruktur



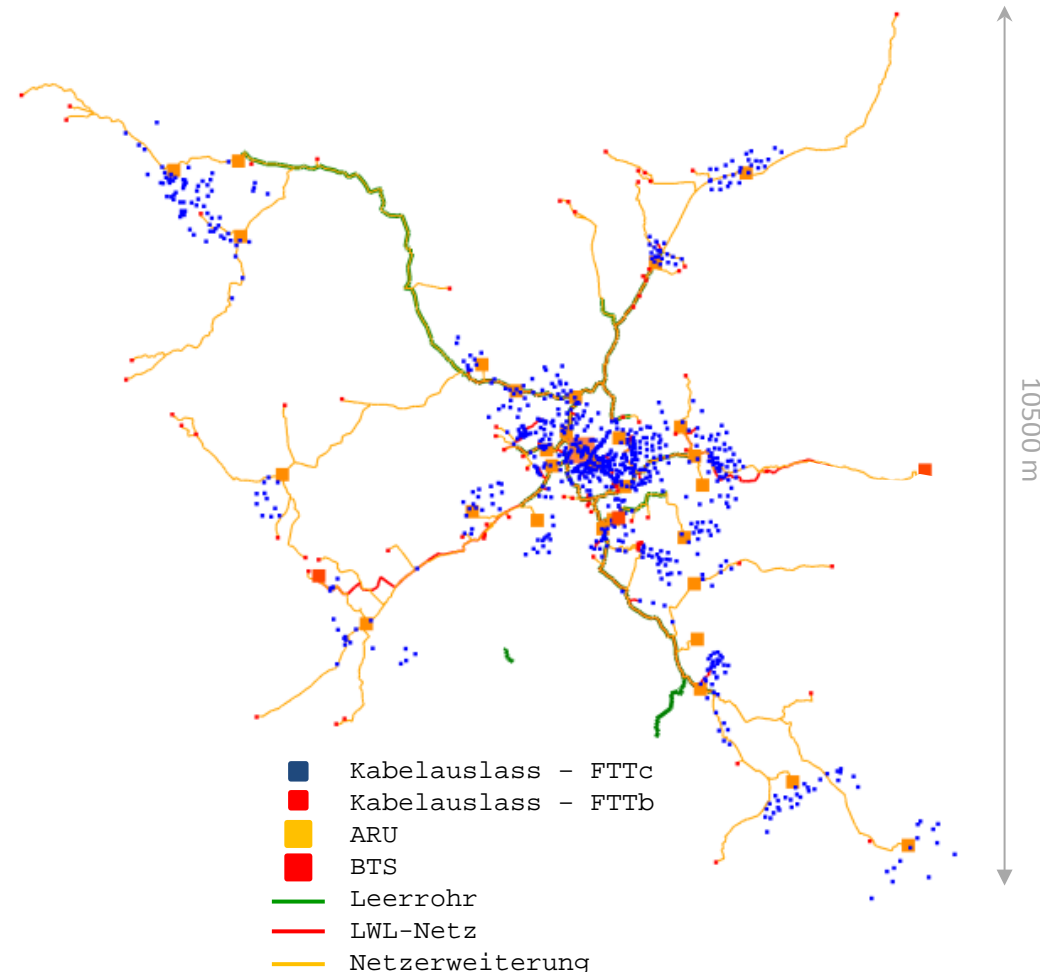
Grobspezifikation – NGA Access-Netzwerk

Gesucht:

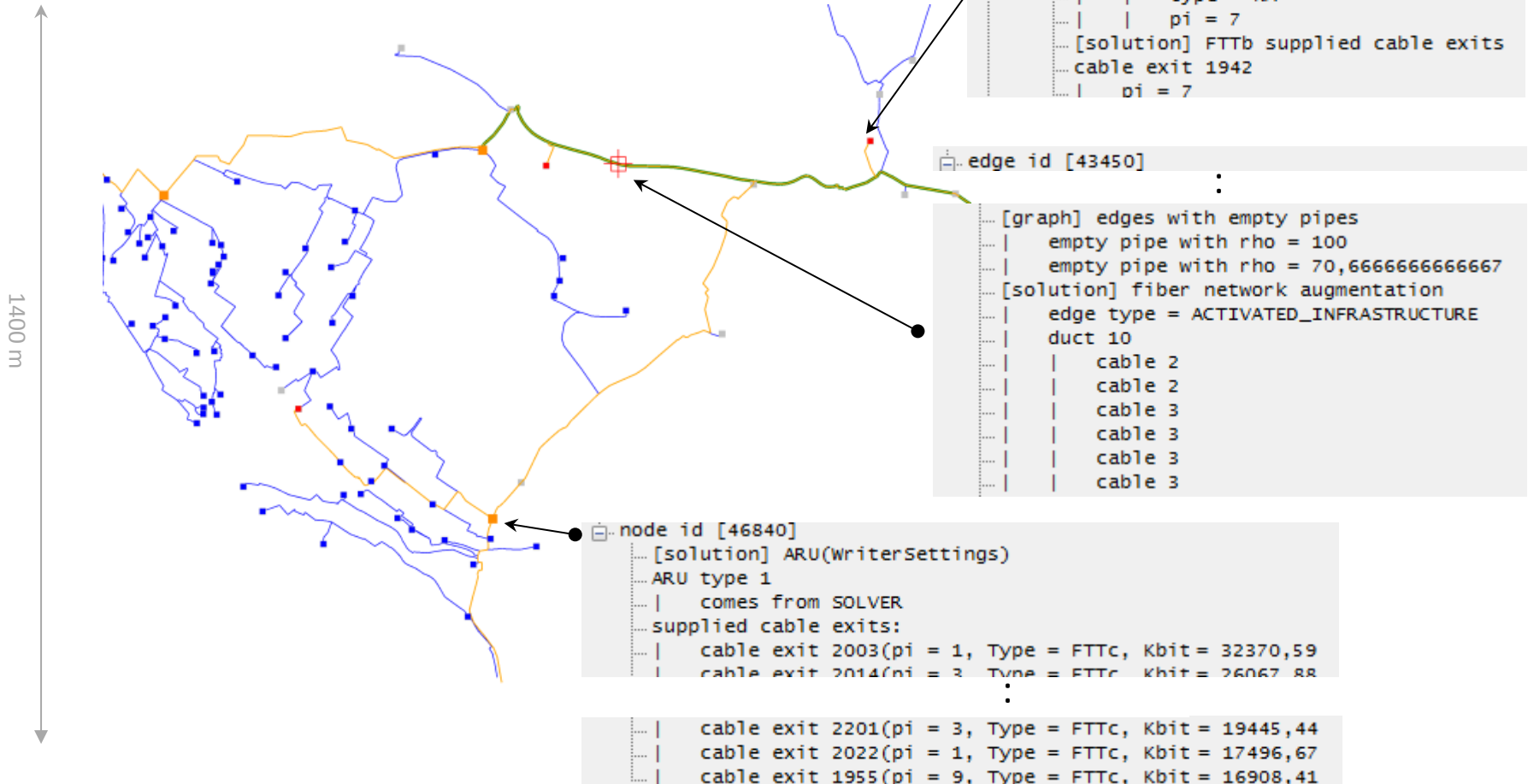
NGA-Access-Netzwerk
mit:

- FTTc Quota (via ARU),
Versorgungsgüte
- FTTb Quota
- B2B und BTS

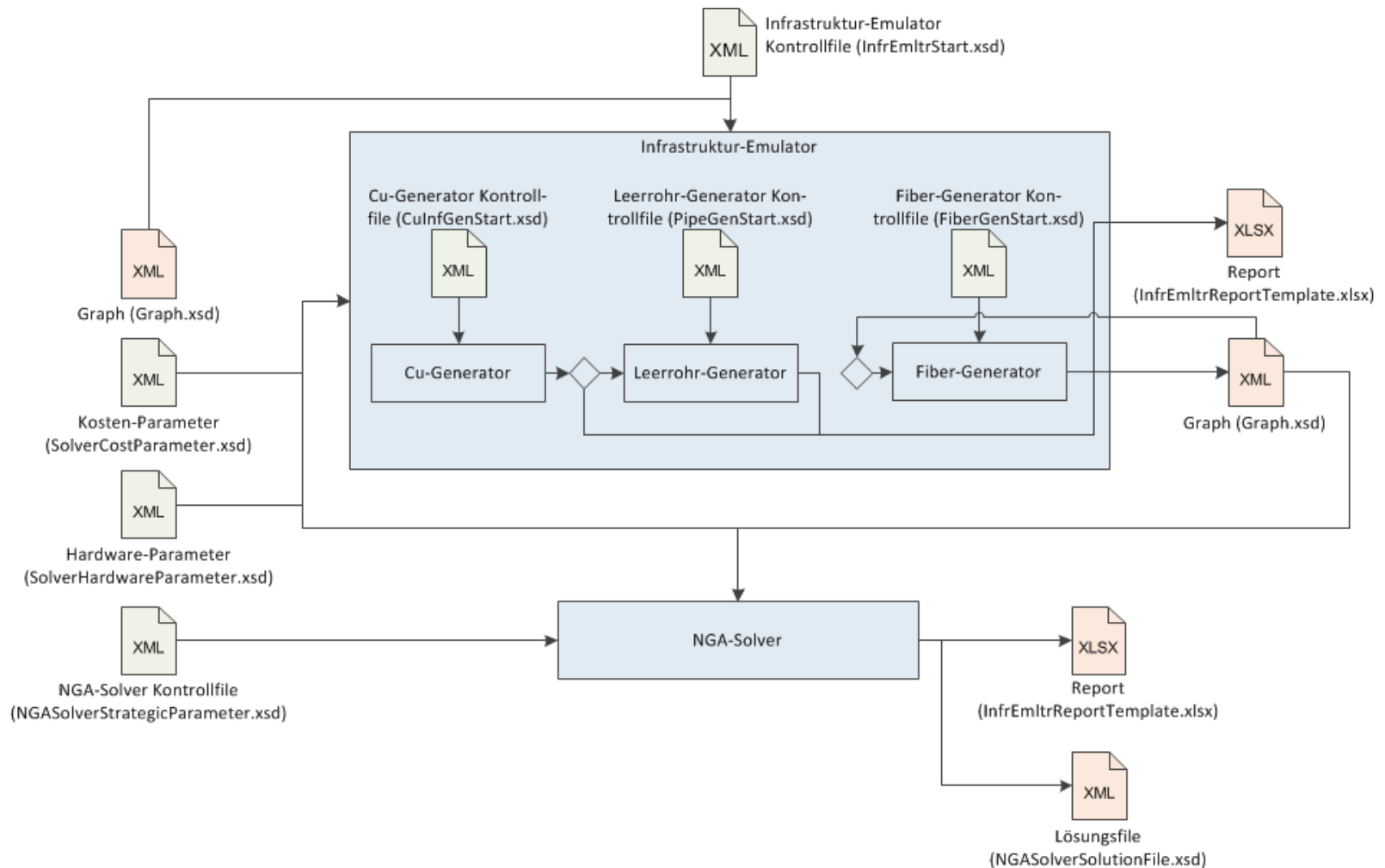
... Berücksichtigung
nutzbarer Infrastruktur



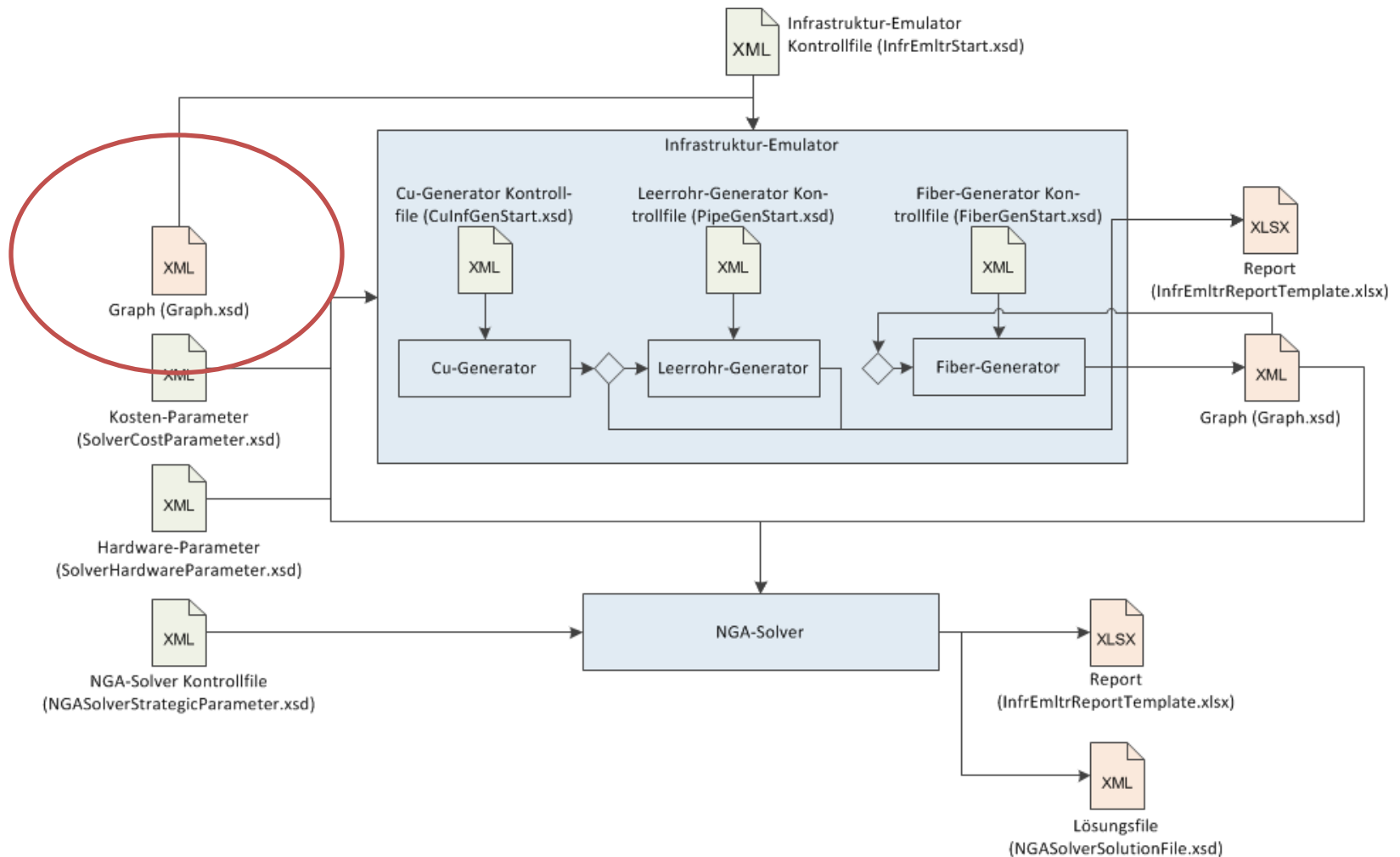
Grobspezifikation – NGA Access-Netzwerk



Technischer Workflow



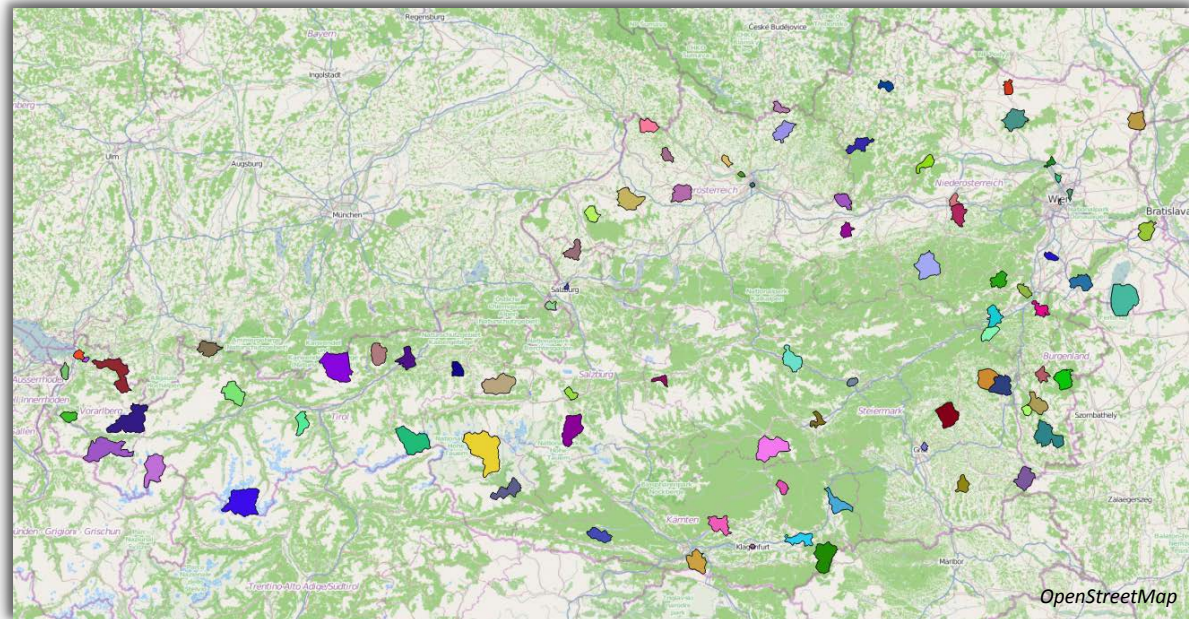
Daten



Daten

Anschlussbereich

- Digitale Katastralmappe (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen)
- 85 repräsentative Anschlussbereiche
- Klassifikation des Siedlungsraums
- Hauptverteiler-Standort
- BTS Standorte
- Mikrozellendaten



Daten

Anschlussbereich

- Anschlussbereichsgrenzen im Festnetz der A1 Telekom Austria
- Statistische Informationen
 - Klassifizierung
 - geographische Ausdehnung
 - Anzahl von Gebäude und Wohnungen
 - Anzahl der BTS
 - vorhandener Bedarf
 - Flächennutzungen

Information

• Area classification:	Provincial
• Population density [people/km ²]:	88.16
• Population:	14,356
• Total number of buildings:	4,607
• Number of residential buildings:	4,069
• Number of apartments:	7,345
• Horizontal extent [m]:	20,559
• Vertical extent [m]:	16,849

Graph Dimension

• Number of accessobjects:	3,283
• Number of BTS:	38
• Number of nodes:	277,097
• Number of edges:	401,846

Accessobjects Demand

• Minimum:	1.00
• Medium:	2.14
• Maximum:	48.00
• Total:	7,111.00

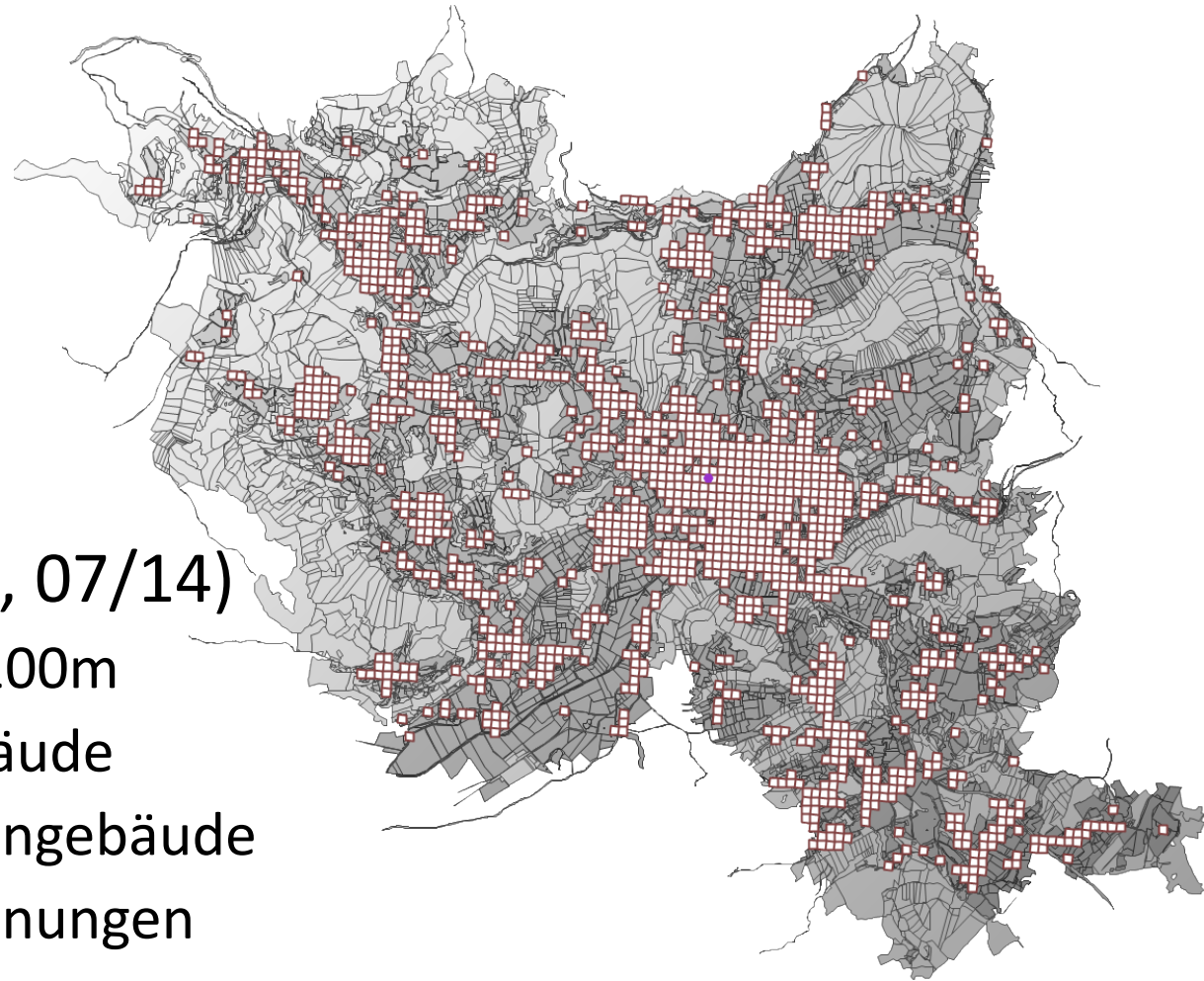
Area [m²]

• Verkehrsrandflaechen:	364
• Weingarten:	26,487
• Vegetationsame_Flaechen:	50,281
• Friedhoeefe:	73,636
• Parkplaetze:	75,208
• Feuchtgebiete:	76,615
• Dauerkurturanlagen_oder_Erwerbsgaerten:	112,733
• Abbauflaechen_Halden_und_Deponien:	317,549
• Freizeitflaechen:	352,251
• Schienenverkehrsanlagen:	417,172
• Gebaeudeebenflaechen:	523,238
• Stehende_Gewaesser:	637,266
• Betriebsflaechen:	966,773
• Fließende_Gewaesser:	1,012,946
• Verbuschte_Flaechen:	1,535,284
• Gebaeude:	1,783,330
• Strassenanlage:	6,033,073
• Gaerten:	9,404,345
• Aecker_Wiesen_oder>Weiden:	63,652,206
• Waelder:	75,794,959
• Total:	162,845,717

Daten

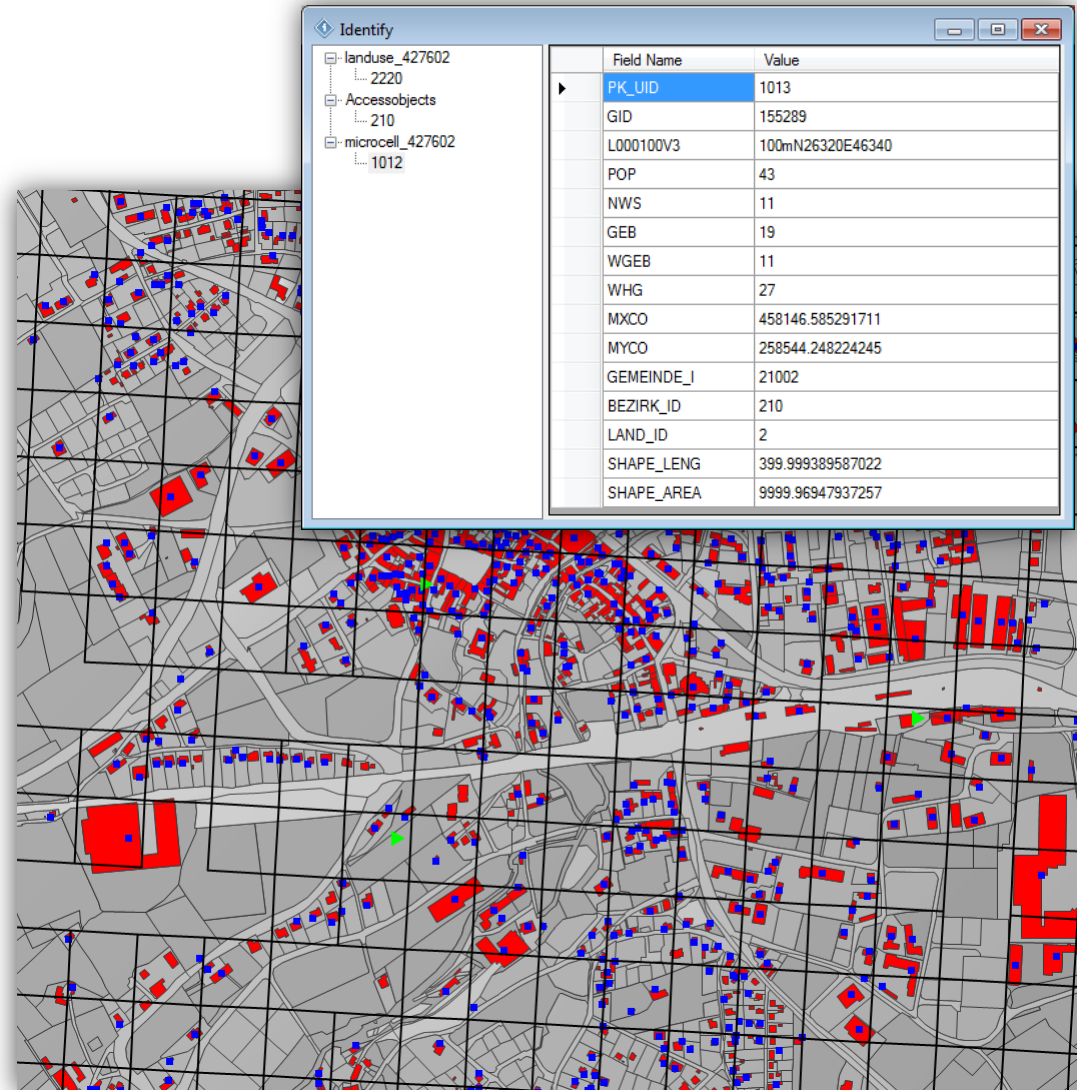
Kabelausslass

- Bedarf eines Kabelausslass (i.e. Demand)
- Geographische Grunddaten (Statistik Austria, 07/14)
 - Raster 100m x 100m
 - Anzahl der Gebäude
 - Anzahl der Wohngebäude
 - Anzahl der Wohnungen



Datenaufbereitung Bedarf

- Gebäude (60m²)
- Kabelauslass
 - geometrische Zentrum
 - nächstgelegener Knoten des Polygons
- Bedarf
 - Anzahl Gebäude
 - Anzahl Wohnungen



Datenaufbereitung Bedarf

- Konsistente Daten

- Anzahl Gebäude = Anzahl KA
- Bedarf(**Wohnung**) wird auf Wohngebäude gleichverteilt
- Bedarf(**Gebäude - Wohngebäude**) wird auf restliche Gebäude gleichverteilt

	Field Name	Value
▶	PK_UID	1013
	GID	155289
	L000100V3	100mN26320E46340
	POP	43
	NWS	11
	GEB	19
	WGEB	11
	WHG	27
	MXCO	458146.585291711
	MYCO	258544.248224245
	GEMEINDE_I	21002
	BEZIRK_ID	210
	LAND_ID	2
	SHAPE_LENG	399.999389587022
	SHAPE_AREA	9999.96947937257

- Inkonsistente Daten

- Anzahl Gebäude \neq Anzahl KA
- Bedarf(**Gebäude - Wohngebäude + Wohnung**) wird auf KA gleichverteilt

Datenaufbereitung Bedarf (konsistent)

The image illustrates data consistency requirements through a map and three 'Identify' window screenshots. The map shows several blue rectangular buildings with red dots. Three orange arrows point from specific buildings to three separate 'Identify' window screenshots.

Top-Left Screenshot:

Field Name	Value
PK_UID	1080
GID	155356
L000100V3	100mN26316E46346
POP	4
NWS	0
GEB	3
WGEB	1
WHG	3
MXCO	458728.090808293
MYCO	258117.206222768
GEMEINDE_I	21002
BEZIRK_ID	210
LAND_ID	2
SHAPE_LENG	399.999446615624
SHAPE_AREA	9999.97233079803

Top-Right Screenshot:

Field Name	Value
ID	1161
VertexID	30734
Type	KA
Demand	3
KVDomain	0

Bottom-Left Screenshot:

Field Name	Value
ID	1177
VertexID	194705
Type	KA
Demand	1
KVDomain	0

Bottom-Right Screenshot:

Field Name	Value
ID	1169
VertexID	194605
Type	KA
Demand	1
KVDomain	0

Datenaufbereitung Bedarf (inkonsistent)

Field Name	Value
PK_UID	937
GID	155213
L000100V3	100mN26319E46334
POP	88
NWS	5
GEB	10
WGEb	7
WHG	52
MXCO	457543.391941714
MYCO	258471.563874248
GEMEINDE_J	21002
BEZIRK_ID	210
LAND_ID	2
SHAPE_LENG	399.999679440664
SHAPE_AREA	9999.98397203804

Field Name	Value
ID	128
VertexID	8144
Type	KA
Demand	10
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	680
VertexID	76209
Type	KA
Demand	5
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	619
VertexID	11577
Type	KA
Demand	10
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	124
VertexID	130276
Type	KA
Demand	10
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	243
VertexID	169246
Type	KA
Demand	10
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	176
VertexID	183398
Type	KA
Demand	10
KVDomain	0

Datenaufbereitung Bedarf(inkonsistent)

Field Name	Value
PK_UID	935
GID	155211
L000100V3	100mN26316E46334
POP	5
NWS	1
GEB	3
WGEB	2
WHG	2
MXCO	457530.379350005
MYCO	258171.729148507
GEMEINDE_I	21002
BEZIRK_ID	210
LAND_ID	2
SHAPE_LENG	399.999510271486
SHAPE_AREA	9999.97551358843

Field Name	Value
ID	1069
VertexID	193284
Type	KA
Demand	1
KVDomain	0

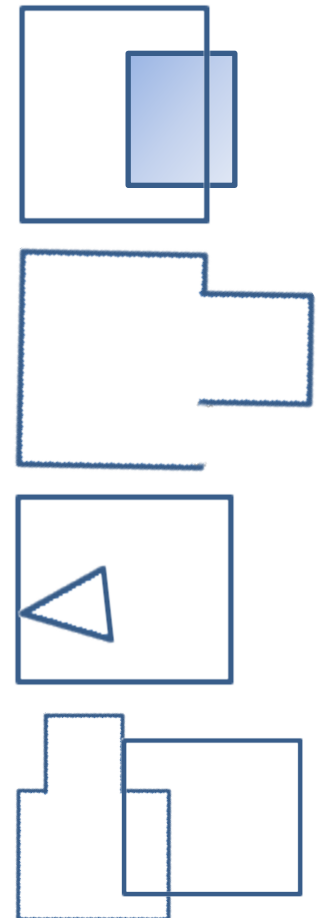
Field Name	Value
ID	1087
VertexID	166787
Type	KA
Demand	1
KVDomain	0

Field Name	Value
ID	1089
VertexID	193556
Type	KA
Demand	1
KVDomain	0

Datenaufbereitung

Graph

- Nutzungspolygone aus Digitaler Katastralmappe
- Bereinigung möglicher Datenfehler
 - Gültige Datenstruktur (Außengrenze vs. Löcher)
 - Geschlossenes Polygon
 - Frei von kreuzenden Kanten
 - Frei von Schleifen (Knotengrad > 2)
 - Keine Überschneidung mit anderem Polygon



Datenaufbereitung

Graph

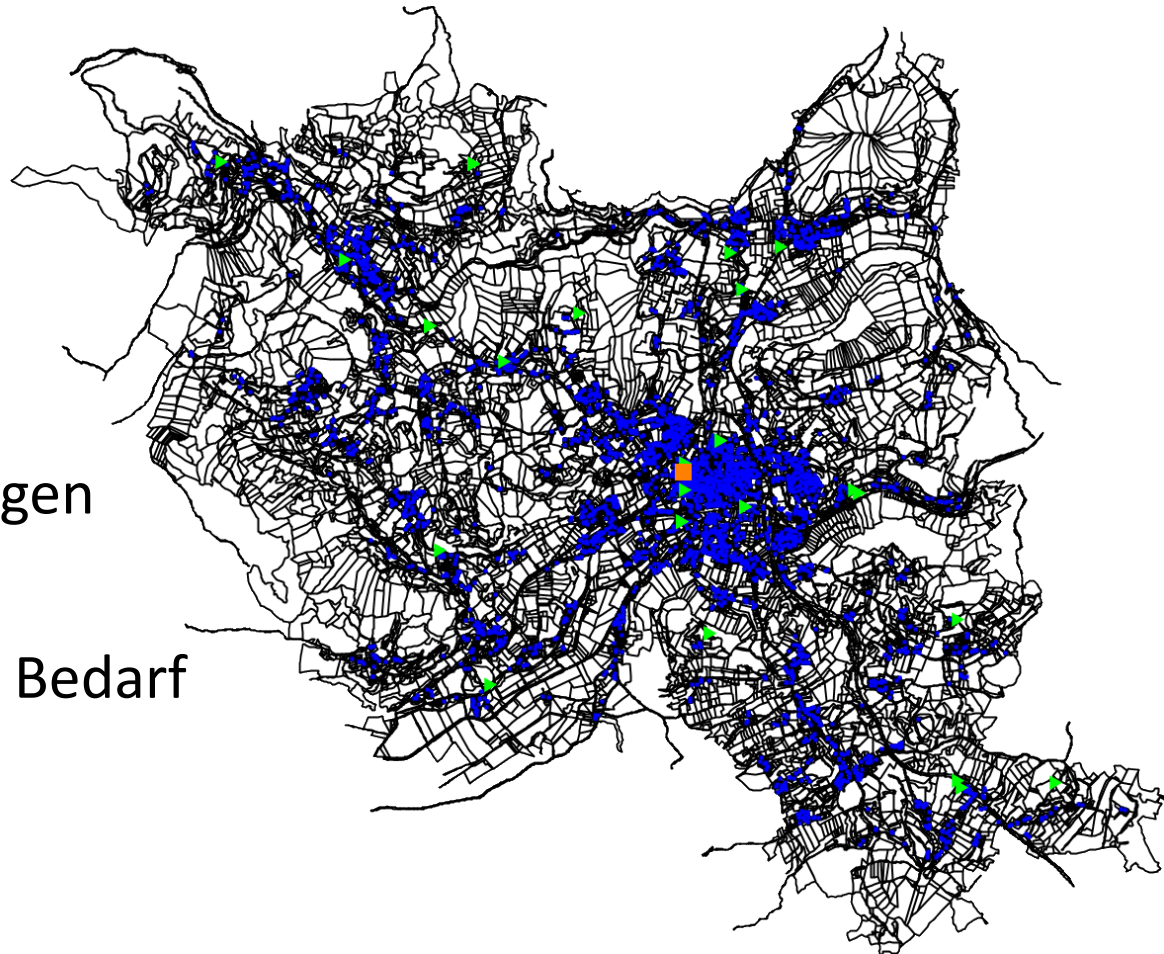
- Grenzen der Nutzungen (Polygone + Löcher)
- Gebäude = Kabelauslass
- BTS und HV
- Orthogonale Projektionen
- Querungen
- Konsistenz
- Klassifikation der Kanten (Landnutzung, Querung)



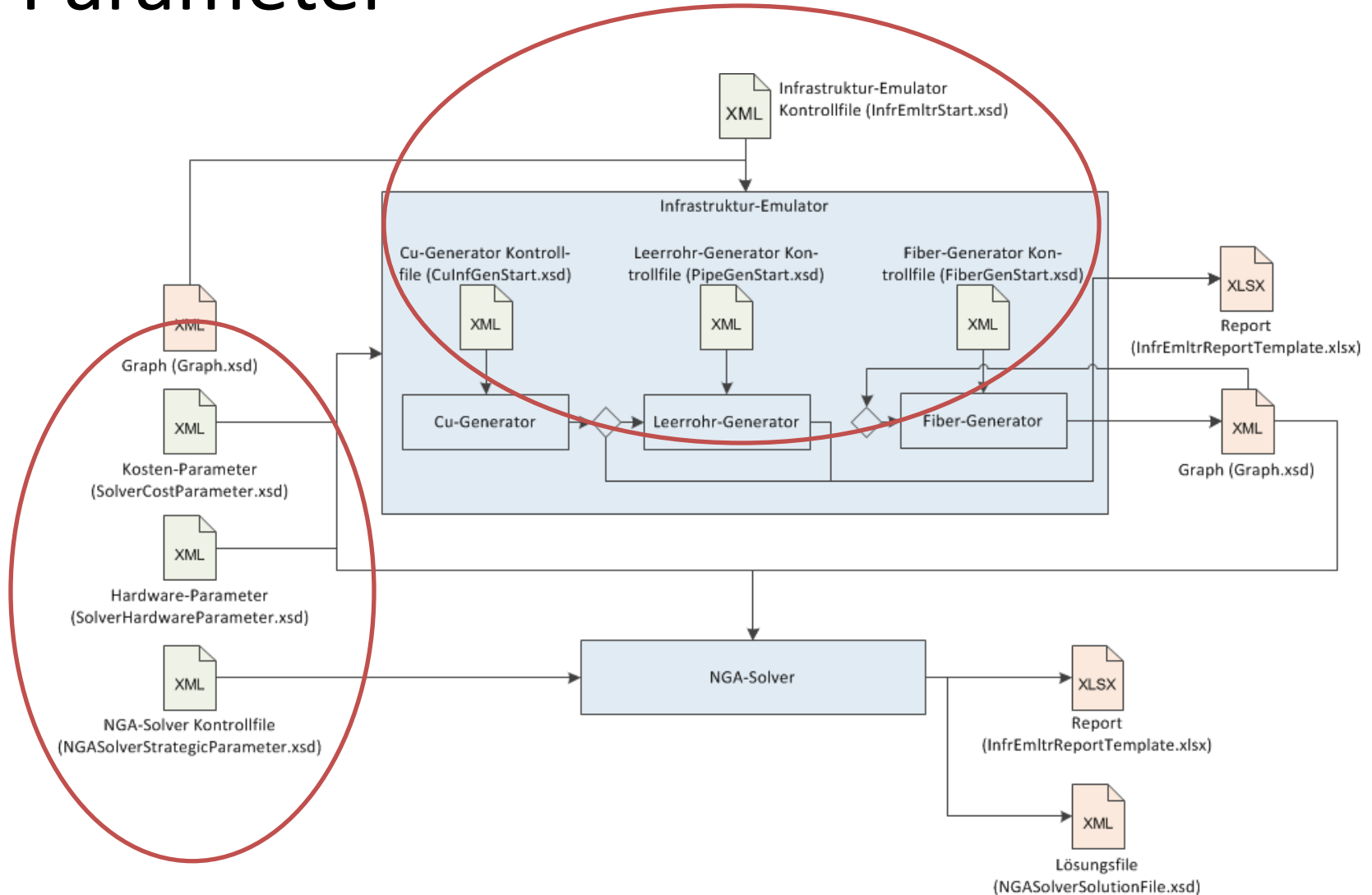
Datenaufbereitung Resultat

Netzwerkgraph

- Knoten-
Kantenmodell
- Attribuierungen:
 - Positionsabbildungen
 - Landnutzungen
 - Kabelauslässe mit Bedarf
 - BTS-Standorte
 - HV-Standort



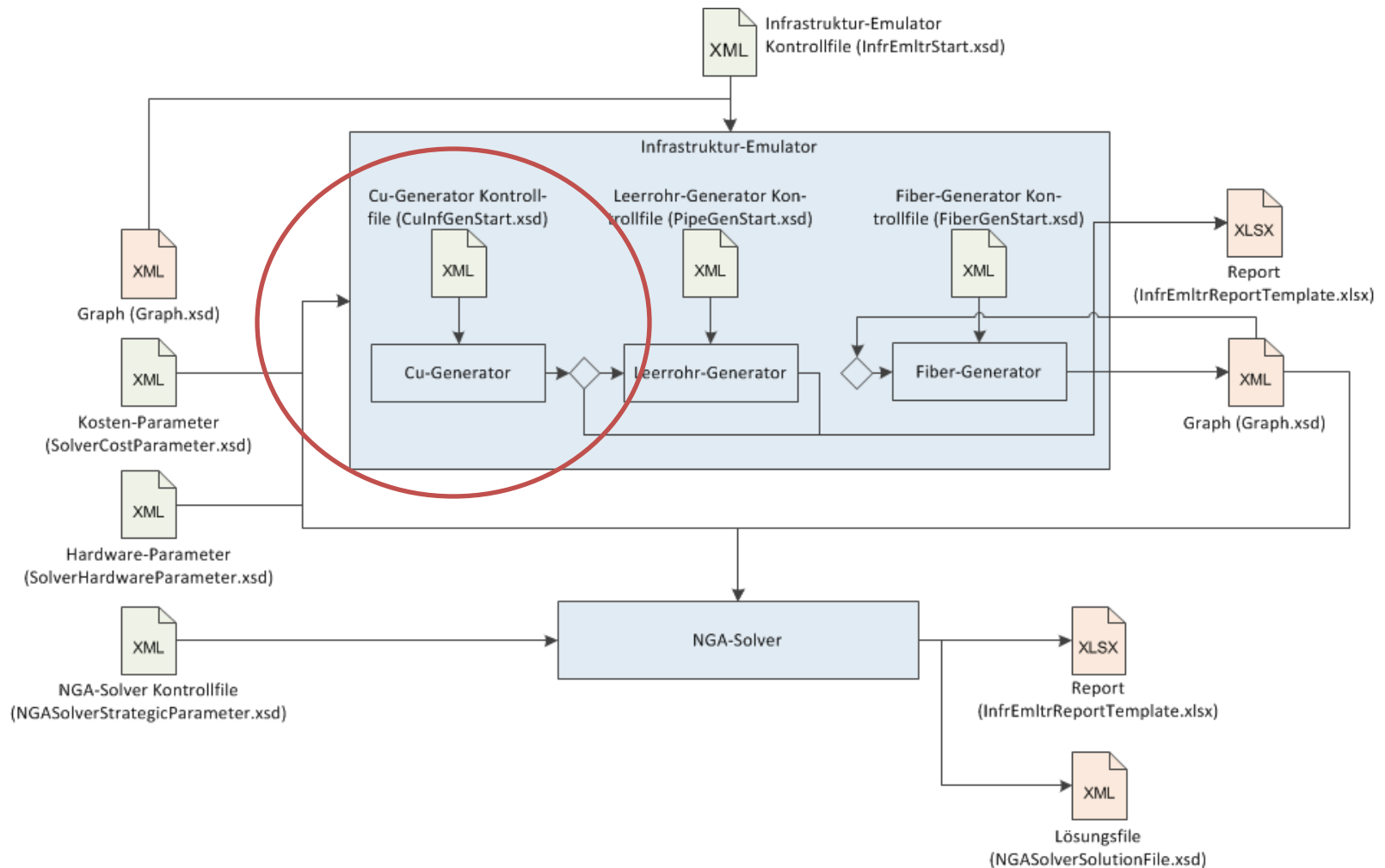
Parameter



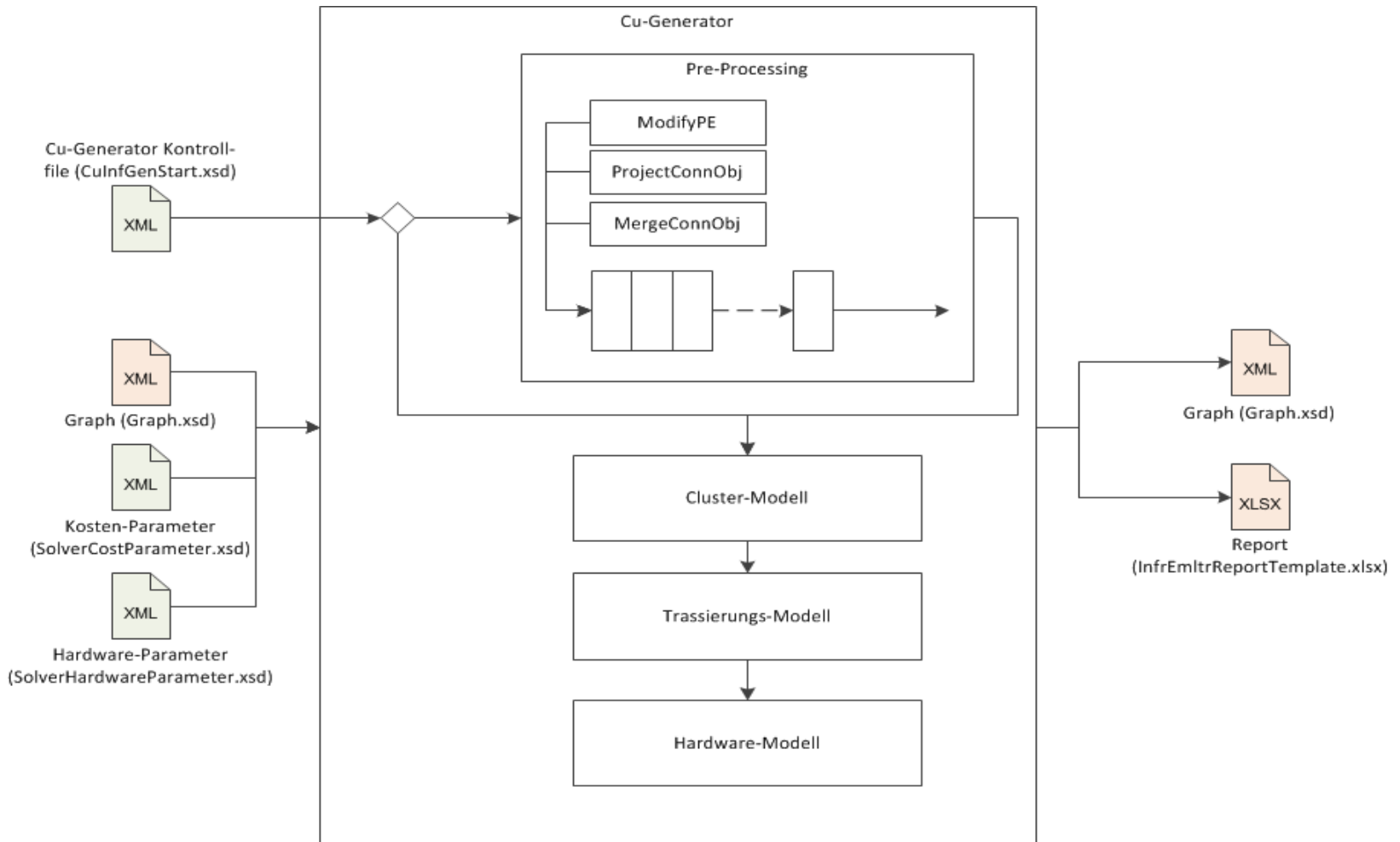
Parameter

The screenshot displays the RTRAccNET software interface. The main window shows a map of a region with a dense network of blue nodes and grey lines representing a power distribution network. The interface includes a menu bar (File, View, Tools, Help) and a toolbar. On the left, there is a list of areas with their respective IDs and names. The main map area shows the network overlaid on a topographic map. On the right, there is a layer selection panel with options for Map Layers, HV, BTS, Accessobjets, mikrocell_427602, landuse_427602, si LANDUSE, and OSM Street View. The status bar at the bottom shows the following information: Project: Vollständige_Durchrechnung, Area: Feldkirchen, Graph loaded: True, Solution loaded: False, 6/16/2015 11:19:03 AM.

Cu-Generator



Cu-Generator





Cu-Generator – Preprocessing- modell ModifyPE

- Manipulation potentieller Einheiten:
- Strategien:

$$\pi^* = \left[\frac{r}{100} \sum_{a \in A} \pi(a) \right]$$

Ausgangs-
Situation


 10 PE

 1 PE

 7 PE

MaintainObjects
 $r = 0.5$


 5 PE

 1 PE

 3 PE

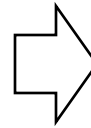
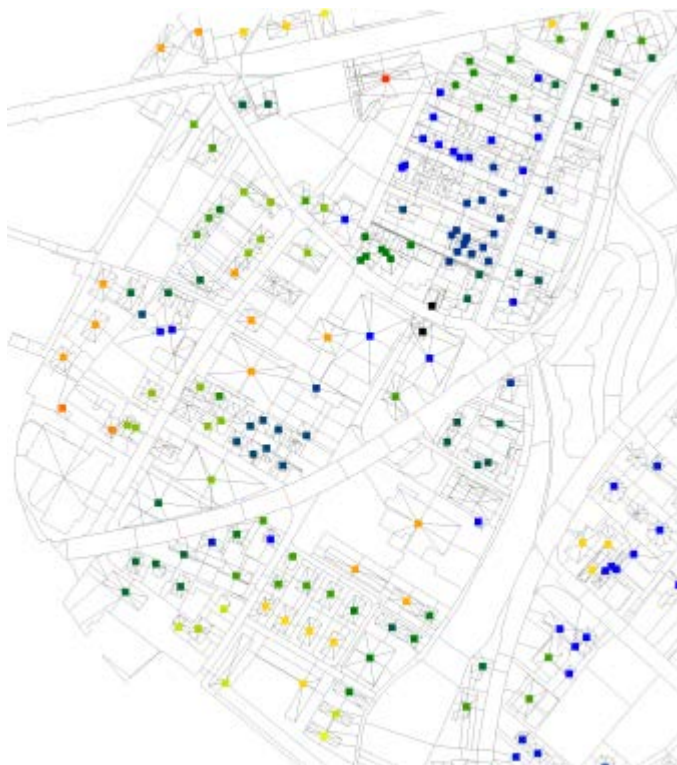
Equalized
 $r = 0.5$

 6 PE

 3 PE

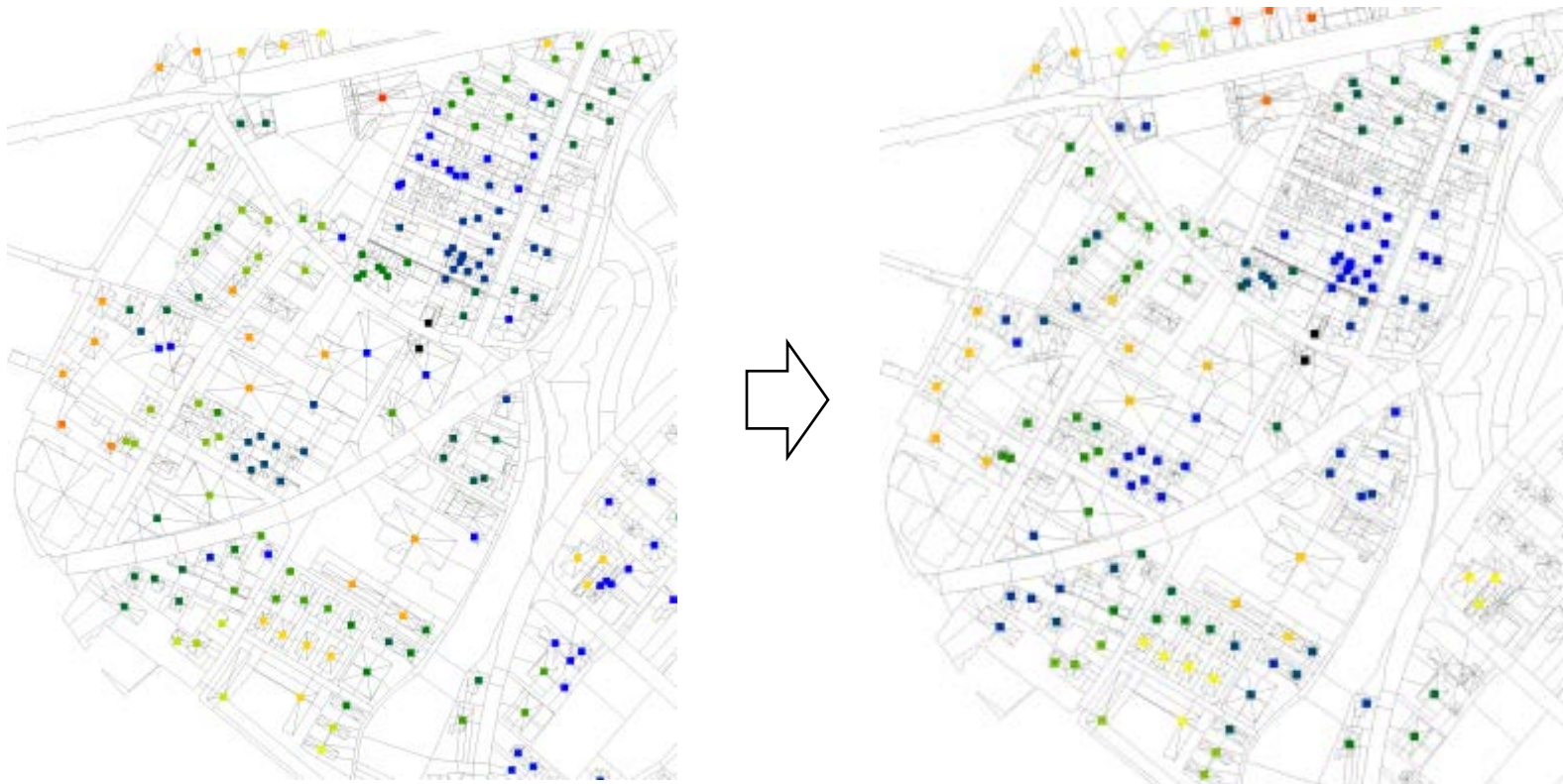
Cu-Generator – Preprocessing- modell ModifyPE

```
<ModifyPE>  
  <ReductionFactorPE>50</ReductionFactorPE>  
  <ReductionPEStrategy>MaintainObjects</ReductionPEStrategy>  
</ModifyPE>
```



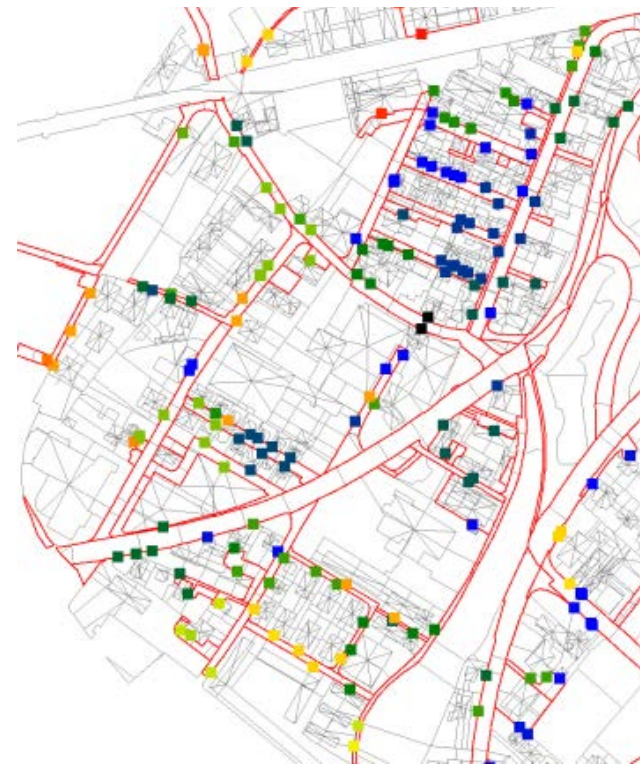
Cu-Generator – Preprocessing- modell ModifyPE

```
<ModifyPE>  
  <ReductionFactorPE>50</ReductionFactorPE>  
  <ReductionPEStrategy>Equalized</ReductionPEStrategy>  
</ModifyPE>
```



Cu-Generator – Preprocessing- modell ProjectConnObj

```
<ProjectConnObj>  
  <ProjectTo>Strassenanlage</ProjectTo>  
</ProjectConnObj>
```

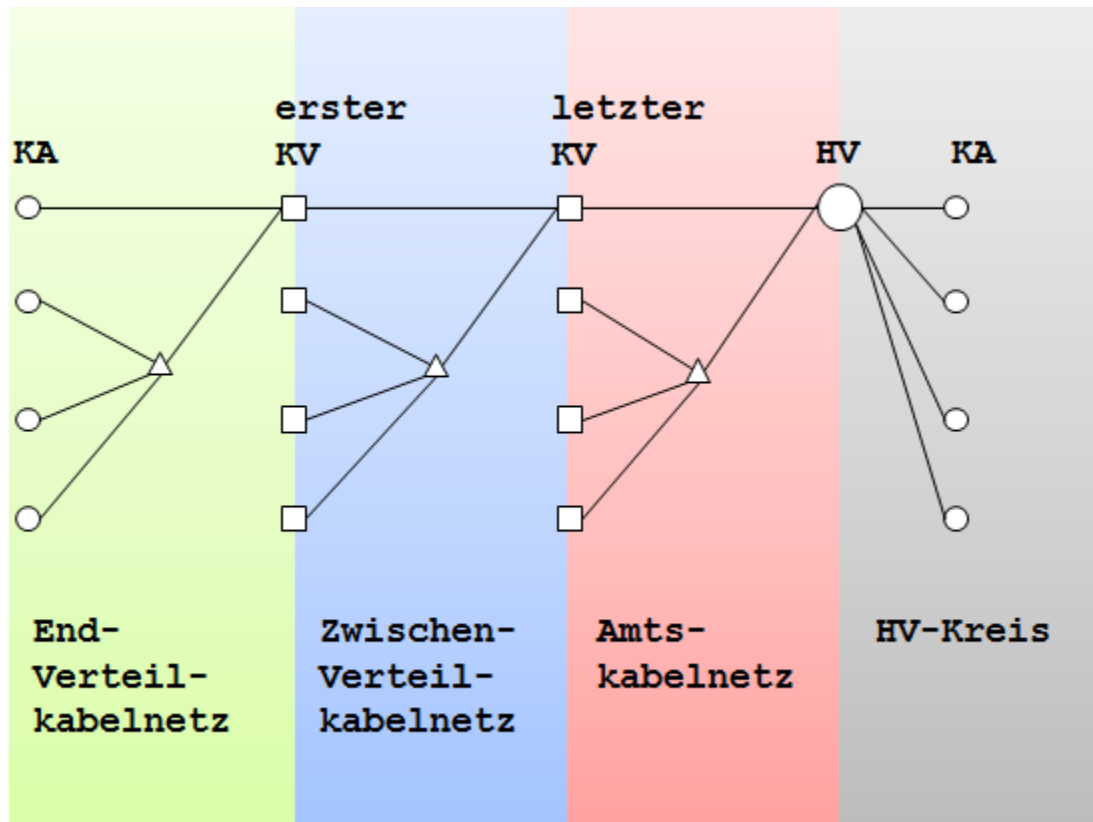


Cu-Generator – Preprocessing- modell MergeConnObj

```
<MergeConnObj>  
  <GraphDist>>false</GraphDist>  
  <MaxDist>200</MaxDist>  
  <MaxDemand>100</MaxDemand>  
</MergeConnObj>
```

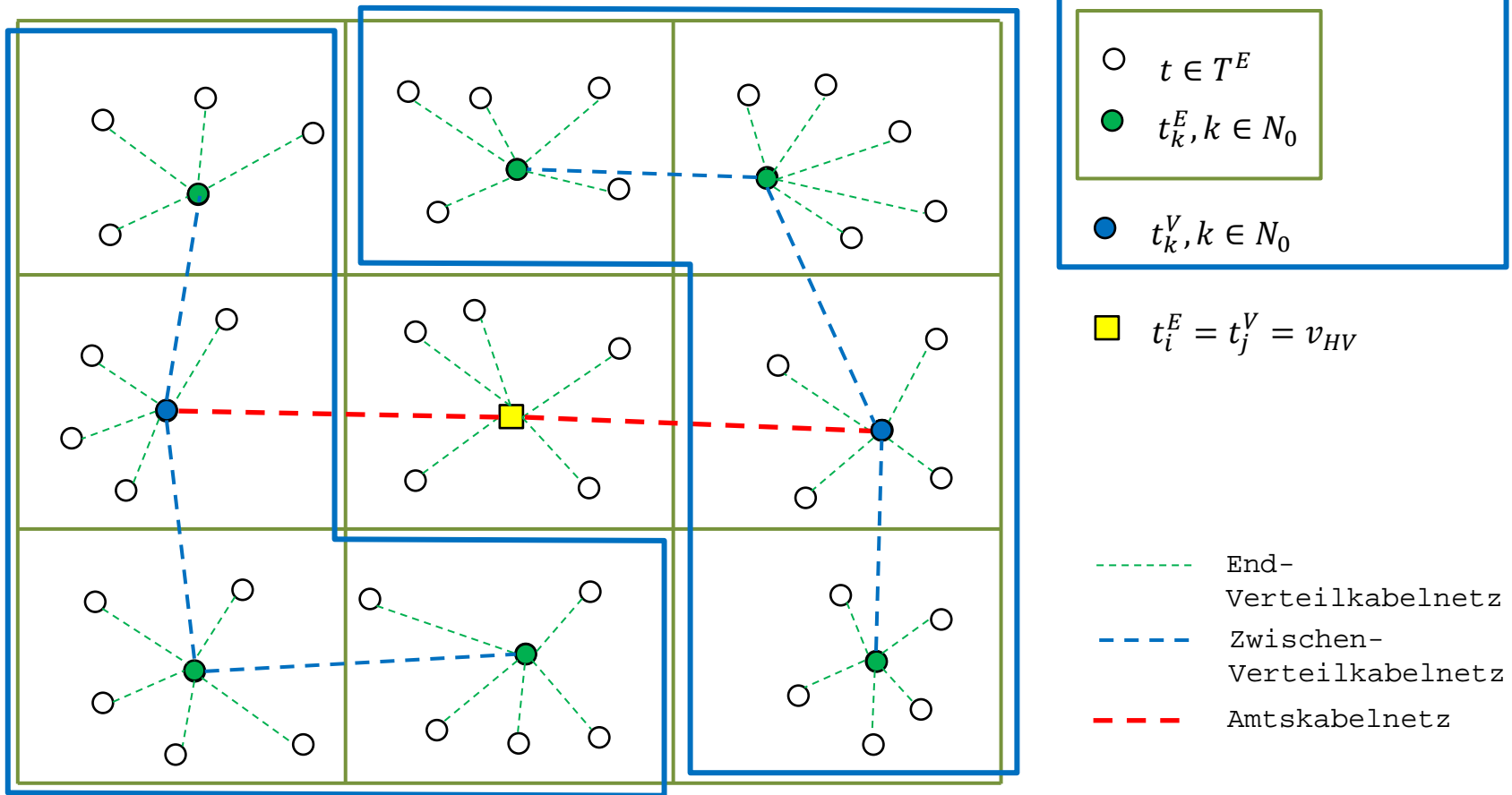


Cu-Generator – Clustermodell



- **Kabelausschlüsse (KA)**
- △ **Abzweigmuffe (AM)**
- **Kabelverteiler (KV)**

Cu-Generator - Clustermodell

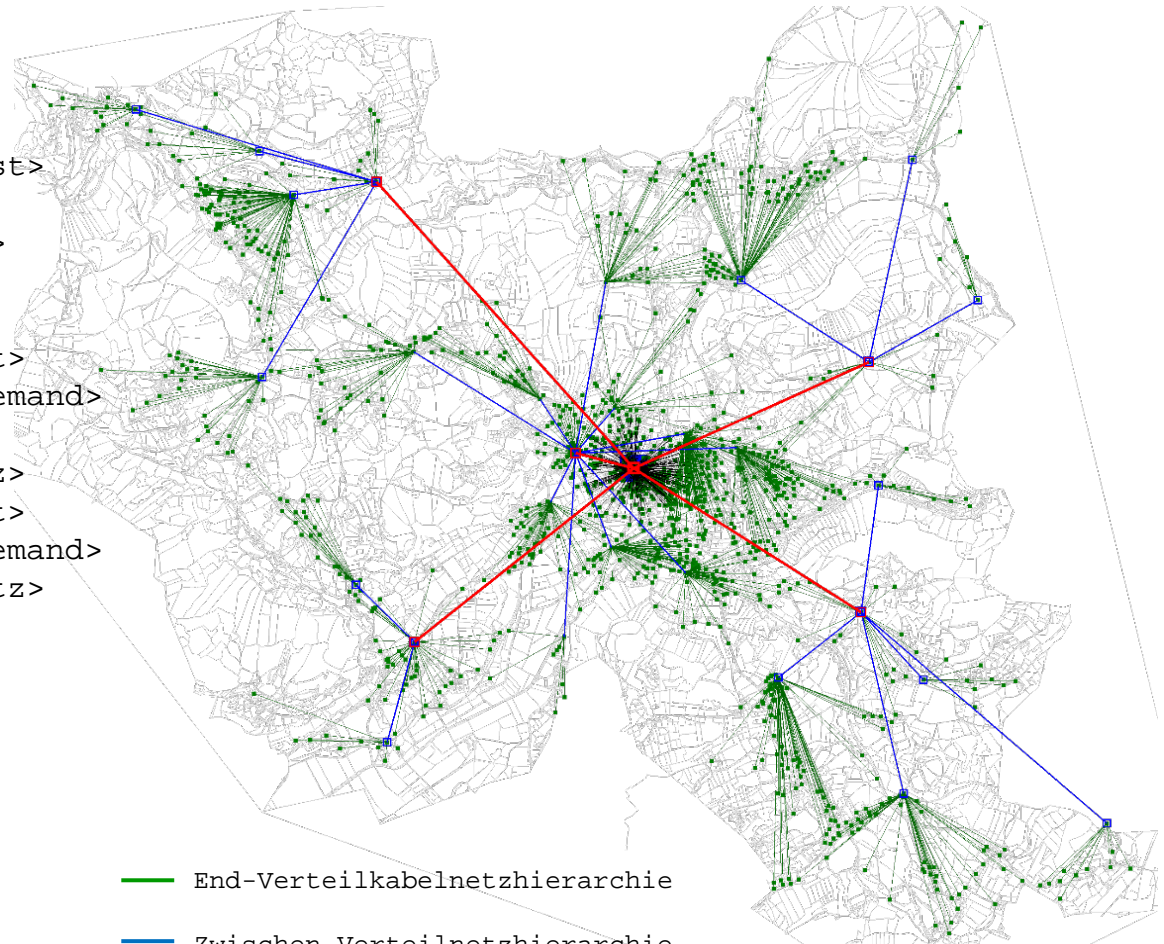


Cu-Generator – Clustermodell

```

<NetworkDomains>
  <GraphDist>false</GraphDist>
  <HVKreis>
    <MaxDist>500</MaxDist>
  </HVKreis>
  <End-Verteilkabelnetz>
    <MaxDist>1500</MaxDist>
    <MaxDemand>1000</MaxDemand>
  </End-Verteilkabelnetz>
  <Zwischen-Verteilkabelnetz>
    <MaxDist>4000</MaxDist>
    <MaxDemand>5000</MaxDemand>
  </Zwischen-Verteilkabelnetz>
</NetworkDomains>

```



- End-Verteilkabelnetzhierarchie
- Zwischen-Verteilnetzhierarchie
- Amtskabelnetzhierarchie

Cu-Generator – Trassierungsmodell

- Trassierungskosten auf Kante:

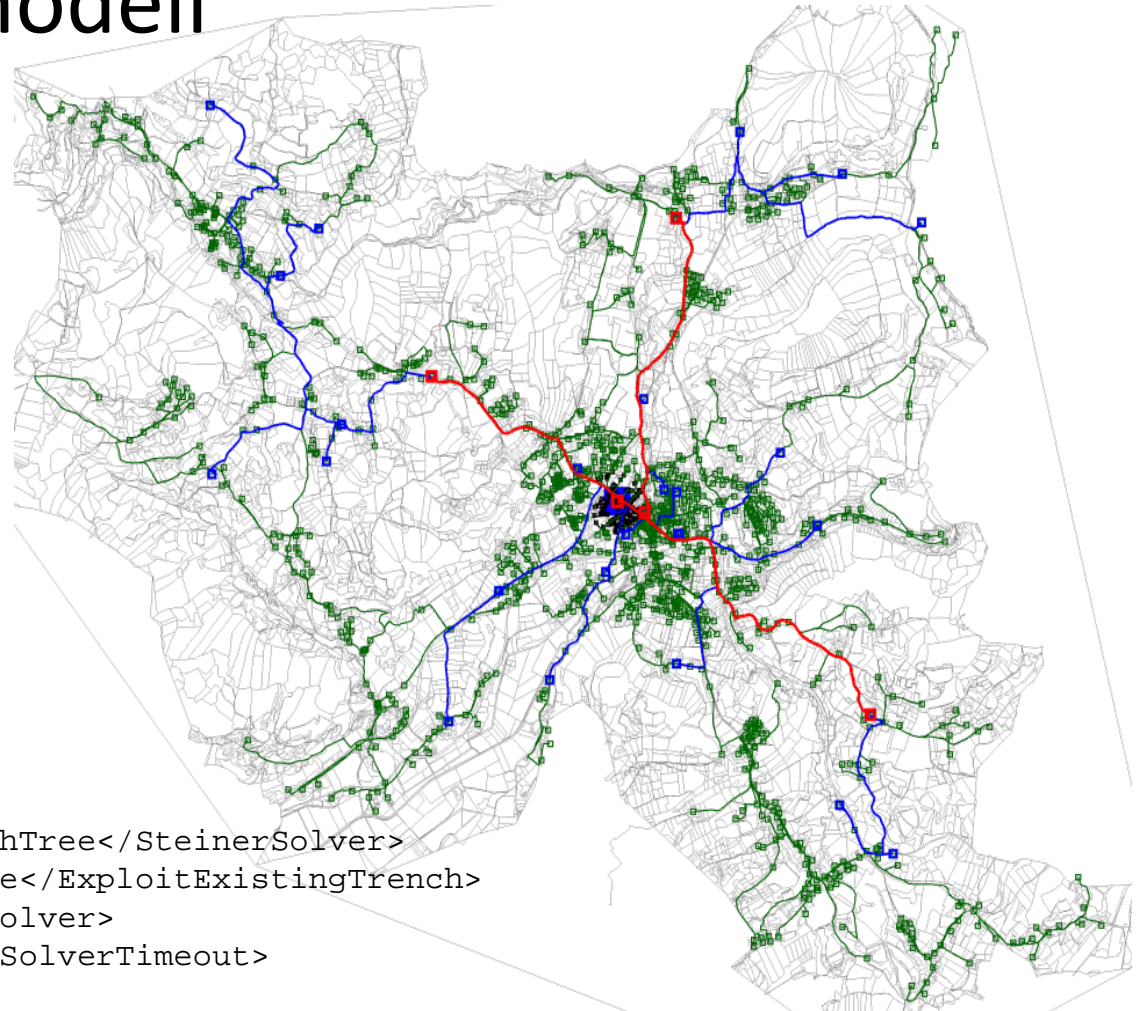
$$c = l \min_{\omega \in \Omega} c_{\omega} (1 - b_{\omega} (1 - f_{wl}))$$

Länge \rightarrow l
 spezifische Verlegekosten pro Längeneinheit \rightarrow c_{ω}
 Wegerecht \leftarrow b_{ω}
 Wegerechtfaktor \leftarrow f_{wl}

- Solver für Hierarchie-Instanzen:
 - Shortest-Path-Baum (single-source-shortest path Problem)
 - Steiner-Baum
- Trassierungsmodelle
 - bottom-up (Hierarchie-Unabhängigkeit)
 - top-down (Trassierungsprobleme in ZVNT und EVNT bzw. HVK „nutzen“ existierende Trassierung übergeordneter Hierarchie)

Cu-Generator – Trassierungsmodell

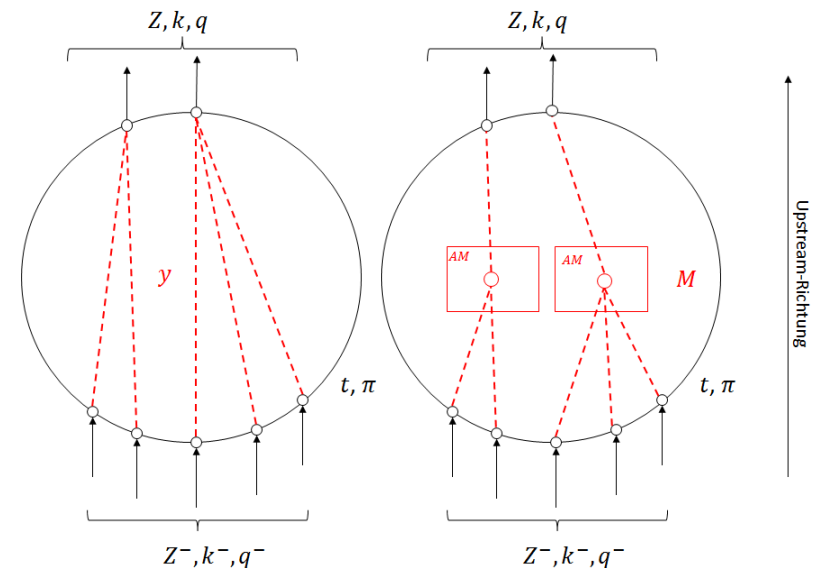
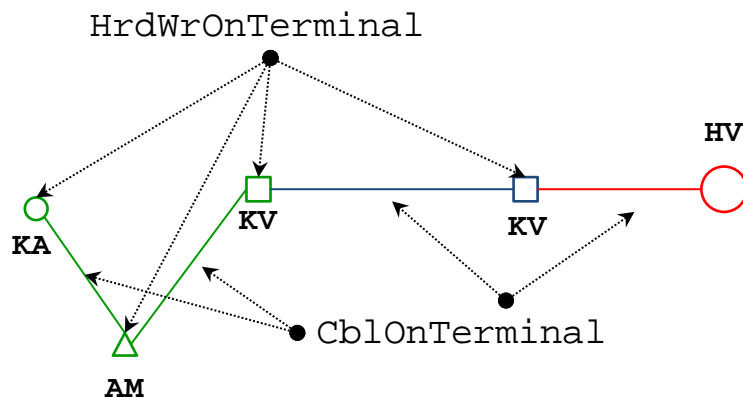
- End-Verteilkabelnetz
- Zwischen-Verteilnetz
- Amtskabelnetz



```
<Solver>  
  <SteinerSolver>ShortestPathTree</SteinerSolver>  
  <ExploitExistingTrench>>true</ExploitExistingTrench>  
  <MILPSolver>lpsolve</MILPSolver>  
  <MILPSolverTimeout>1</MILPSolverTimeout>  
</Solver>
```

Cu-Generator – Hardwaremodell

- Upstream Cu-Versorgungspfad für jeden Kabelauslass und bzw. Cu-Komponenten
- MILP-Modelle entlang des Trassierungspfades:



Cu-Generator – Hardwaremodell

- Beispiel:

```
-----
[IDlg_NetwId]  identifier of the suk
[IDlg_t]      identifier of the ter
[IDlg_Obj]    identifier of the obj
-----
```

press Ctrl+Shift+S in order to star

```
-----
| get upstream cable segments for
| report computed segments ...
|   Cbl_EVNt_011_00190
|   |   network = EVNt_011
|   |   cable type id = 1 (nr. twin wires = 10)
|   |   nr. activated twin wires = 10
|   |   starts from component Cmp_EVNt_011_00095 (type = KA, I/O ports = 10/10) at node 6235
|   |   runs along 23 edges at a total length of 160,761843462726 towards the node 118547
|   Cbl_EVNt_011_00204
|   |   network = EVNt_011
|   |   cable type id = 2 (nr. twin wires = 50)
|   |   nr. activated twin wires = 32
|   |   starts from component Cmp_EVNt_011_00101 (type = AM, I/O ports = 50/50) at node 118547
|   |   runs along 13 edges at a total length of 184,17242627639 towards the node 65104
|   Cbl_EVNt_011_00225
|
```

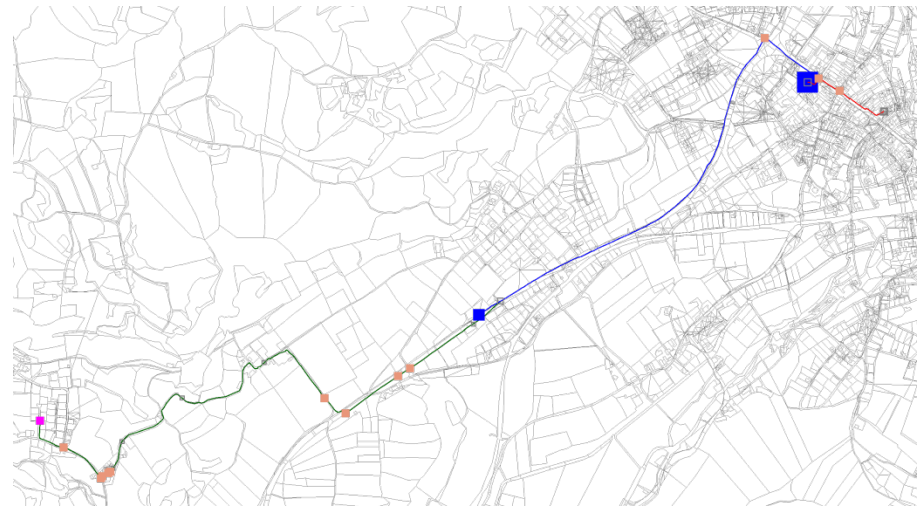


Cu-Generator – Hardwaremodell

```

Cbl_EVNt_011_00405
|   network = EVNt_011
|   cable type id = 3 (nr.
|   twin wires = 180)
|   nr. activated twin wires = 89
|   starts from identical downstream
|   cable at node 148289
|   runs along 23 edges at a total length of 225,607626481433 towards the node 165803
Cbl_ZVNt_000_00148
|   network = ZVNt_000
|   cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
|   nr. activated twin wires = 98
|   starts from component Cmp_ZVNt_000_00074 (type = KV, I/O ports = 680/680) at node 165803
|   runs along 15 edges at a total length of 95,0811402201805 towards the node 116646
Cbl_ZVNt_000_00283
|   network = ZVNt_000
|   cable type id = 3 (nr. twin wires = 180)
|   nr. activated twin wires = 98
|   starts from identical downstream cable at node 116646
|   runs along 182 edges at a total length of 1459,68580934743 towards the node 159676

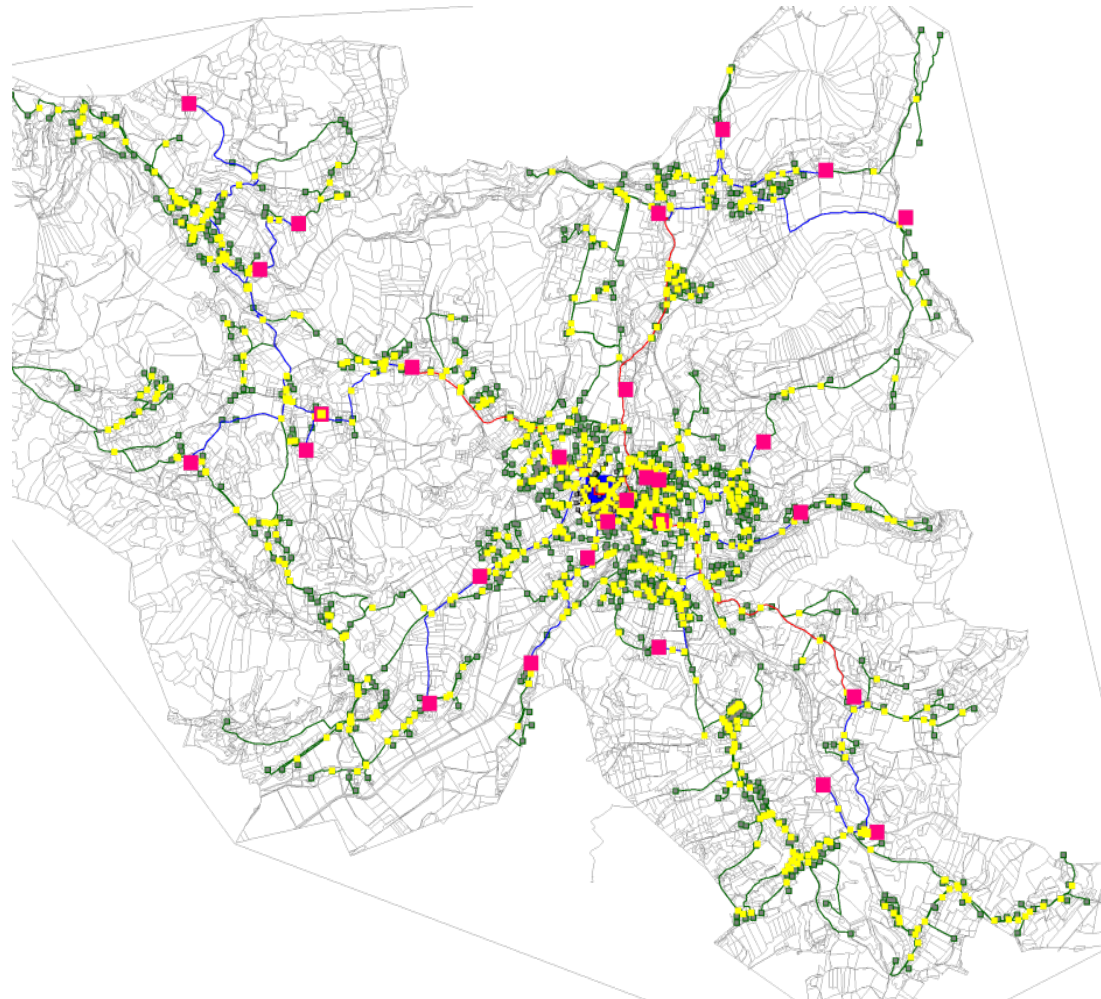
```



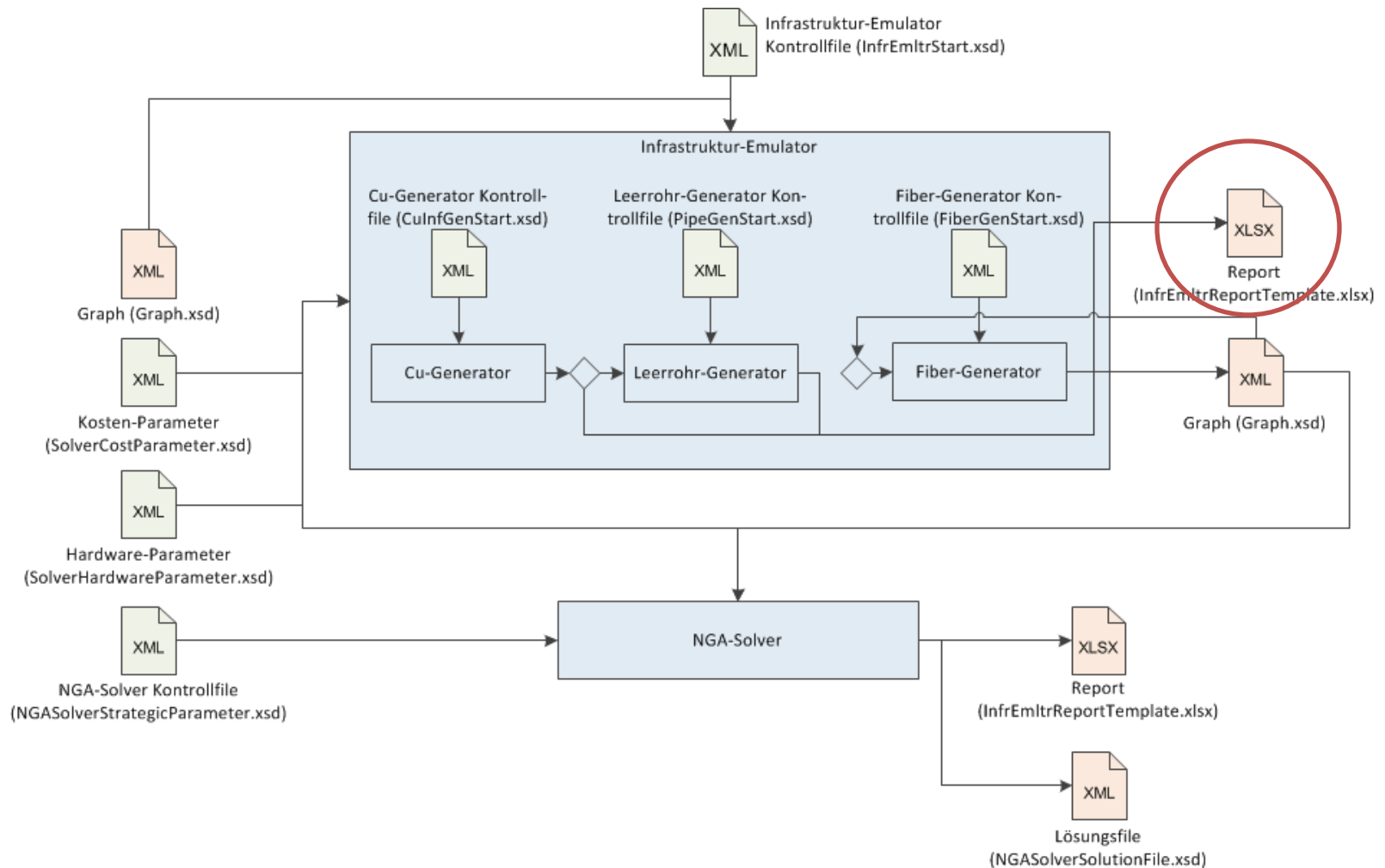
Cu-Generator – Hardwaremodell

- Beispiel:

- End-Verteilkabelnetz
- Zwischen-Verteilnetz
- Amtskabelnetz
- Kabelauslass
- Abzweigmuffe
- Kabelverteiler



Cu-Generator - Report



Cu-Generator - Report

Inputdaten

Typ	Wert	Einheit
Anzahl Knoten im Netzwerkgraphen:	180.622	
Anzahl Kanten im Netzwerkgraphen:	246.728	
ASB-Ausdehnung:	134,22	km ²
Anzahl der Kabelauslässe:	1.334	
Gesamtsumme der potentiellen Einheiten:	6.322	

Preprocessing

Die nachfolgende Tabelle beinhaltet den sukzessiven Ablauf von Pre-Processing-Modellen und deren Ergebnissen.

[1] Anzahl an Kabelauslässen

[3] Anzahl der Positionen (Knoten im Graphen) mit Kabelauslässen

[2] Summe der potentiellen Einheiten über alle Kabelauslässe

[4] durchschnittliche Projektionsdistanz in Meter

Modell	Parameter	Wert	[1]	[2]	[3]	[4]
CuGeneratorTools.ModifyPE	ReductionFactorPE	70,00				
	ReductionPEStrategy	Equalized	1.081	4.426	1.080	
CuGeneratorTools.MergeConnObj	GraphDist	false				
	MaxDist	100				
	MaxDemand	200	498	4.426	498	
CuGeneratorTools.ProjectConnObj	ProjectTo	Strassenanlage	498	4.426	498	13,08

Cu-Generator - Report

Clustermodell

Definition - Distanz: kürzester Weg im Netzwerkgraphen:
 Euklidische Punkt-zu-Punkt-Distanz:

Clustering-Parameter: [1] maximale Distanz in Meter zwischen Versorgungszentrum und Anschlussobjekt in einem Sub-Netz der Netzebene
 [2] maximale Summe der potentiellen Einheiten [2] in einem Sub-Netz der Netzebene

Netzebene	[1]	[2]
HVKreis	300,00	-
End-Verteilkabelnetz	1.500,00	500
Zwischen-Verteilkabelnetz	4.000,00	1.000.000

Versorgungslängenoptimierung =

Modellergebnis:

[1] maximale Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter
 [2] durchschnittliche Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter
 [3] maximale Summe der potentiellen Einheiten in einem Sub-Netz der Netzebene
 [4] durchschnittliche Summe der potentiellen Einheiten der Sub-Netze der Netzebene
 [5] maximale Anzahl der Positionen (Knoten im Graph) mit Anschlussobjekten in einem Sub-Netze der Netzebene
 [6] durchschnittliche Anzahl der Positionen (Knoten im Graph) mit Anschlussobjektender Sub-Netze der Netzebene

Netzebene	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
HVKreis	298,03	191,06	488	488	19	19
End-Verteilkabelnetz	2.424,92	747,64	500	164	40	20
Zwischen-Verteilkabelnetz	2.997,62	1.154,22	3.046	984	14	6
Amtskabelnetz	4.124,15	2.114,53	3.938	3.938	5	5

Cu-Generator - Report

Routingmodell

Allgemeine Modellparameter:

Nullkosten räumliche Überdeckung:

ja

Wegerrecht-Faktor:

0,50

Steiner-Solver:

ShortestPathTree

Landnutzungen:

[1] Verlegekosten pro Meter (Solver)

[3] Gesamtverlegelänge in Meter

[2] Verlegekosten pro Meter

[4] Kosten pro Landnutzung in Euro

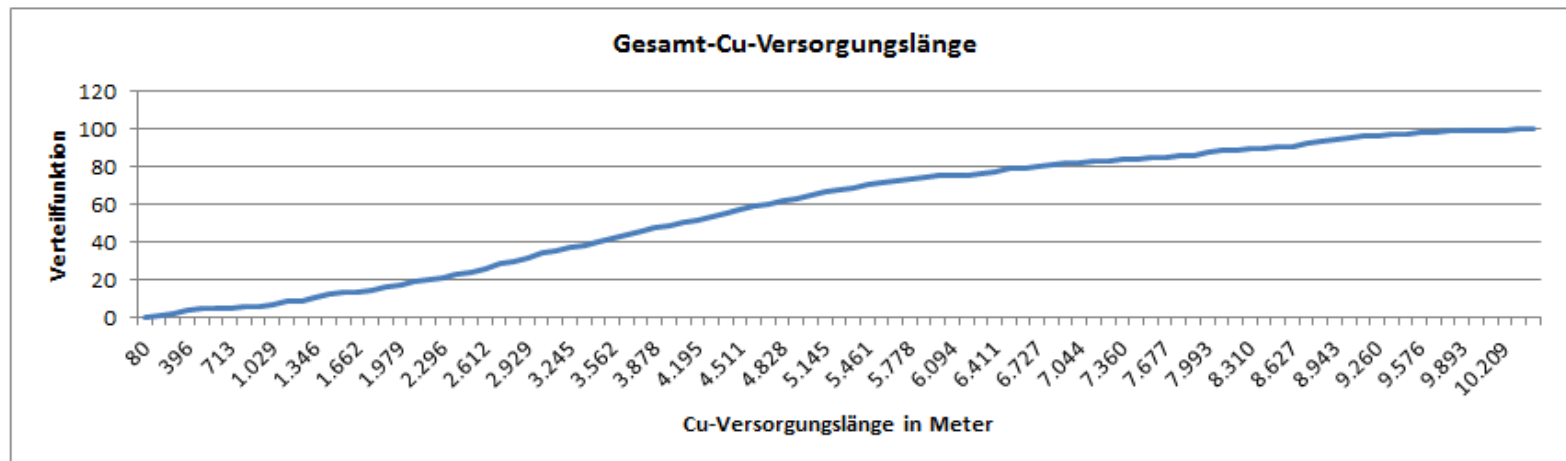
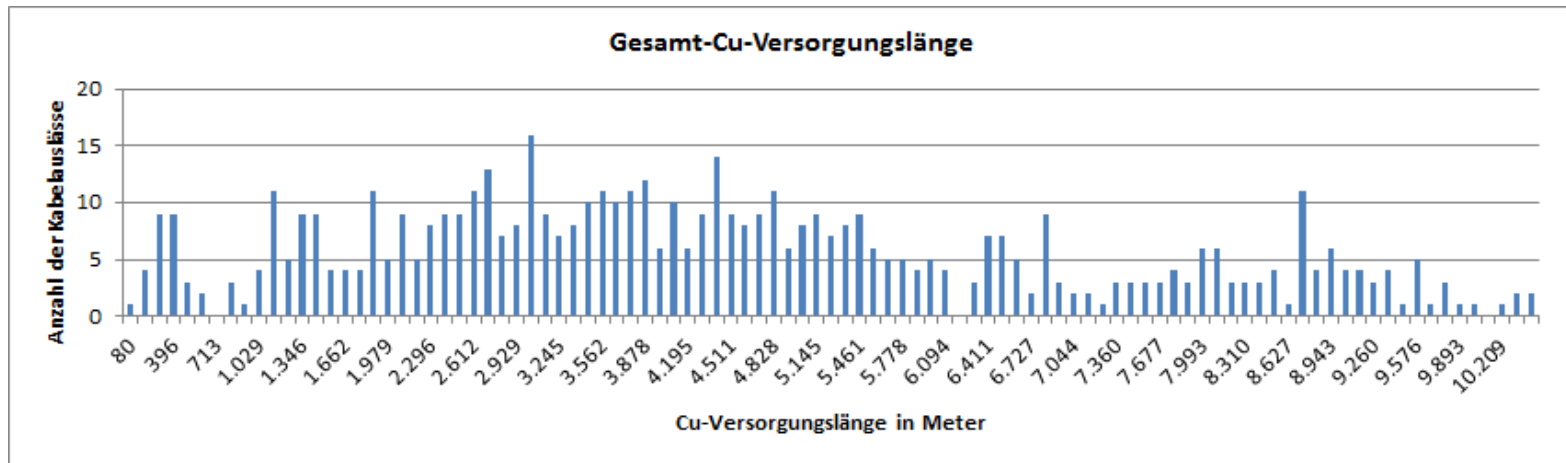
Landnutzungs-kategorie	[1]	[2]	[3]	[4]
Gebäude	320,00	12,00	589,26	7.071,12
Baufläche_befestigt	170,00	170,00	1.224,07	208.091,90
Baufläche_begrünt	55,00	55,00	75.469,38	4.150.815,90
Landwirtschaftlich_genutzte_Grundfläche	58,00	58,00	18.273,85	1.059.883,30
	:	:	:	:
Acker	70,00	50,00	40.331,82	2.016.591,00
Projektion	60,00	0,00	4.469,05	0,00
Unbekannt	2.000,00	200,00	342,14	68.428,00
Summe Verlegekosten:				18.691.993,08

[1] maximale Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter

[2] durchschnittliche Distanz zum Versorgungszentrum für alle Anschlussobjekte in allen Sub-Netzen der Netzebene in Meter

Netzebene	[1]	[2]
HVKreis	605,61	299,74
End-Verteilkabelnetz	6.595,03	1.527,95
Zwischen-Verteilkabelnetz	4.532,05	1.639,87
Amtskabelnetz	4.572,28	2.617,51

Cu-Generator - Report



Cu-Generator - Report

Hardwaremodell

Allgemeine Modellparameter:

Standard-Künettenbreite in Meter:	0,40
Maximale Künettenbreite in Meter:	2,00
Penalty für Überschreitung der Standard-Künettenbreite in EUR pro Meter:	50,00
Maximale Anzahl an Kabel, die zur Versorgung eines Knotens erlaubt sind:	10
Maximale Anzahl an Komponenten pro Knoten:	5

Cu-Kabel:

[1] Anzahl der Cu-Doppeladern	[2] Cu-Querschnitt einer Ader in Millimeter
[3] benötigte Künettenbreite in Meter	[4] maximale durchgängige Verlegelänge
[5] Kosten in EUR pro Meter (Solver)	[6] Kosten in EUR pro Meter
[7] Verlegelänge	[8] Verlegekosten in EUR

Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	10,00	0,40	0,10	500,00	0,40	0,40	192.045,85	76.818,34
2	50,00	0,40	0,10	500,00	1,00	1,60	56.233,67	89.973,88
3	180,00	0,40	0,10	500,00	2,00	7,30	49.797,08	363.518,67
4	680,00	0,40	0,10	500,00	5,00	20,90	6.576,24	137.443,36
5	1.800,00	0,40	0,10	500,00	10,00	66,50	2.057,36	136.814,48
Summe Kabelkosten:								804.568,72

Cu-Generator - Report

Cu-Komponenten:

[1] Anzahl Input-Ports

[2] Anzahl Output-Ports

[3] Typ der Komponente

[4] maximale Anzahl pro Knoten

[5] maximale Anzahl an Versorgungskabel

[6] Kosten pro Stück (Solver)

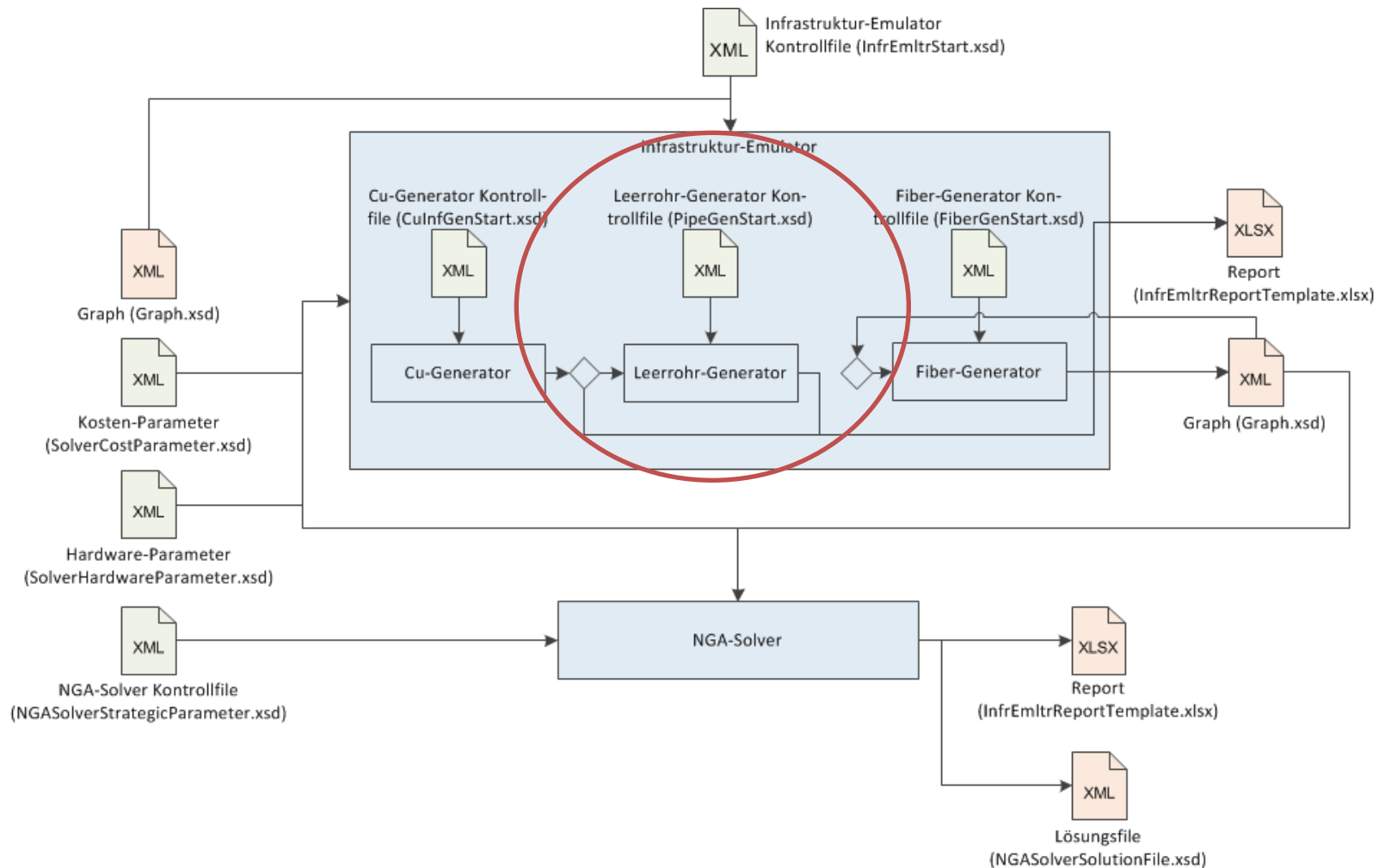
[7] Kosten pro Stück

[8] Anzahl der installierten Stück

[9] Kosten in EUR

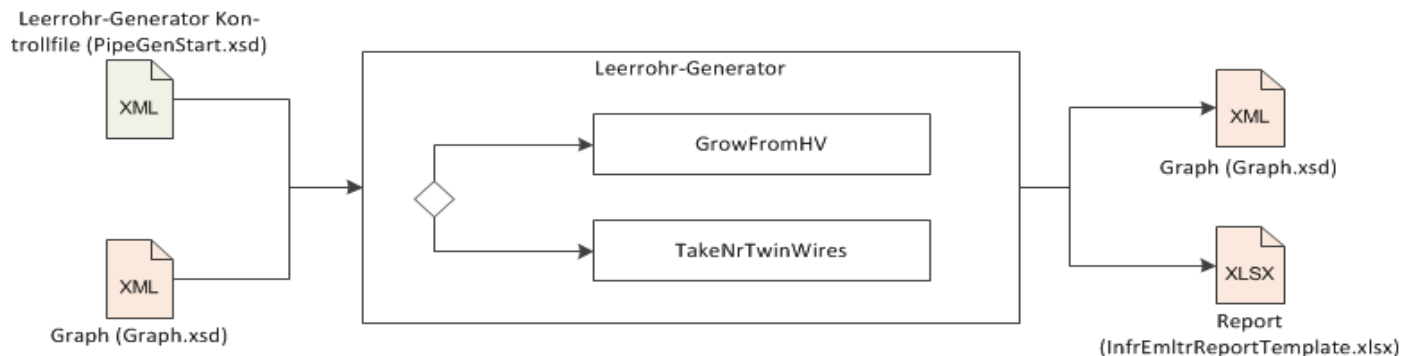
Id	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	10	10	VM	5	10	600,00	600,00	0	0,00
2	50	50	VM	5	10	1.000,00	1.000,00	0	0,00
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
9	680	680	AM	5	5	40,00	2.200,00	58	127.600,00
10	1.800	1.800	AM	5	5	100,00	4.000,00	6	24.000,00
11	10	10	KA	5	1	600,00	600,00	516	309.600,00
12	50	50	KA	5	1	1.000,00	1.000,00	50	50.000,00
13	180	180	KA	5	1	1.500,00	1.500,00	2	3.000,00
14	680	680	KA	5	1	2.000,00	2.000,00	0	0,00
15	1.800	1.800	KA	5	1	3.600,00	3.600,00	0	0,00
16	10	10	KV	5	5	1.600,00	1.600,00	0	0,00
17	50	50	KV	5	5	10.000,00	10.000,00	4	40.000,00
18	180	180	KV	5	5	15.000,00	15.000,00	5	75.000,00
19	680	680	KV	5	5	20.000,00	20.000,00	13	260.000,00
20	1.800	1.800	KV	5	5	36.000,00	36.000,00	4	144.000,00
Summe Komponentenkosten:									1.366.700,00

Leerrohr-Generator



Leerrohr-Generator

- Zwei Strategien:
 - Ausgehend vom HV wird entlang der Cu-Infrastruktur in absteigender Hierarchie solange Leerrohre emuliert bis eine maximale Länge erreicht wird
 - Ab einer Mindestanzahl von installierten Cu-Doppeladern wird Leerrohr-Infrastruktur errichtet

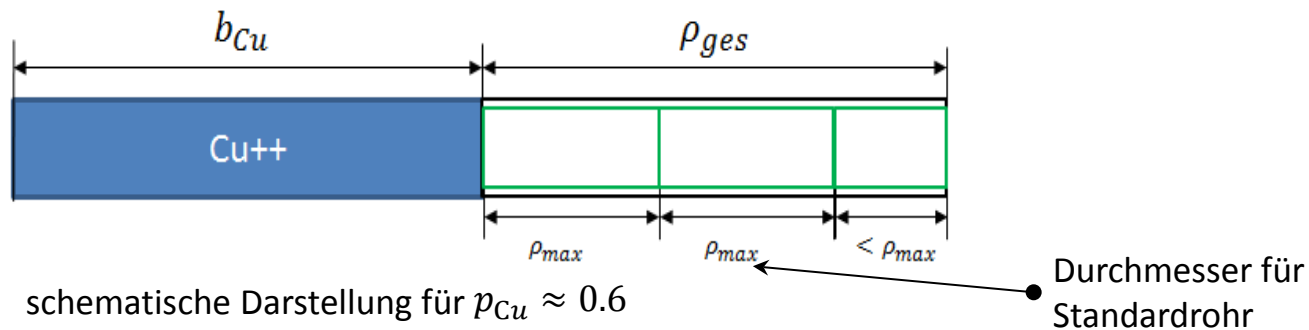


Leerrohr-Generator

- Bestimmung der Restrohrkapazität auf einer Kante:

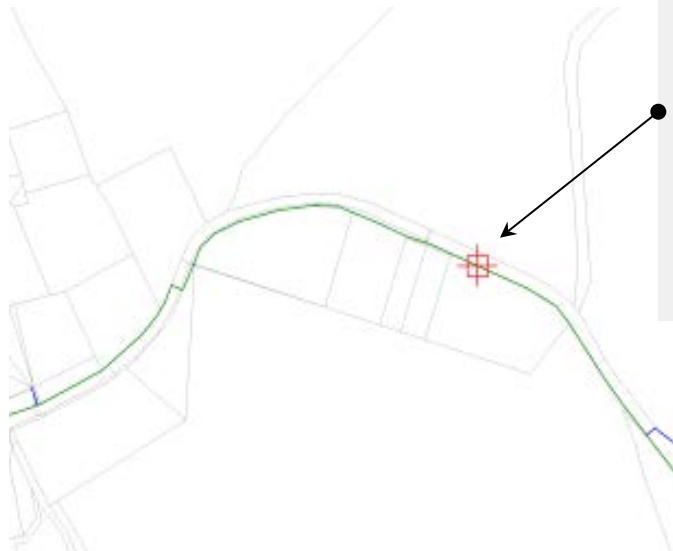
$$\rho_{ges} = \min\{b_{Cu}(1/p_{Cu} - 1), \rho_{Sum,max}\}$$

Leerrohrkapazität Kupferbreite Kupferanteil an bestehender Verrohrung maximale Restrohrkapazität



Leerrohr-Generator

- Beispiel:



```

edge id [170559]
[graph] edge
| l = 53,9385075803947
| omega = Querung_Strassenanlage
| b_wl = False
| c_LdUse_opt = [not determined]
[graph] edges with copper cables
| cable 3000018
| m = 680
| q = 0,4
[graph] edges with empty pipes
| empty pipe with rho = 110
| empty pipe with rho = 6,571428571428571

```

$$b_{Cu} = 272 \quad p_{Cu} = 0.7$$

$$\rho_{ges} = 116.57 \quad \rho_{max} = 110$$

Leerrohr-Generator

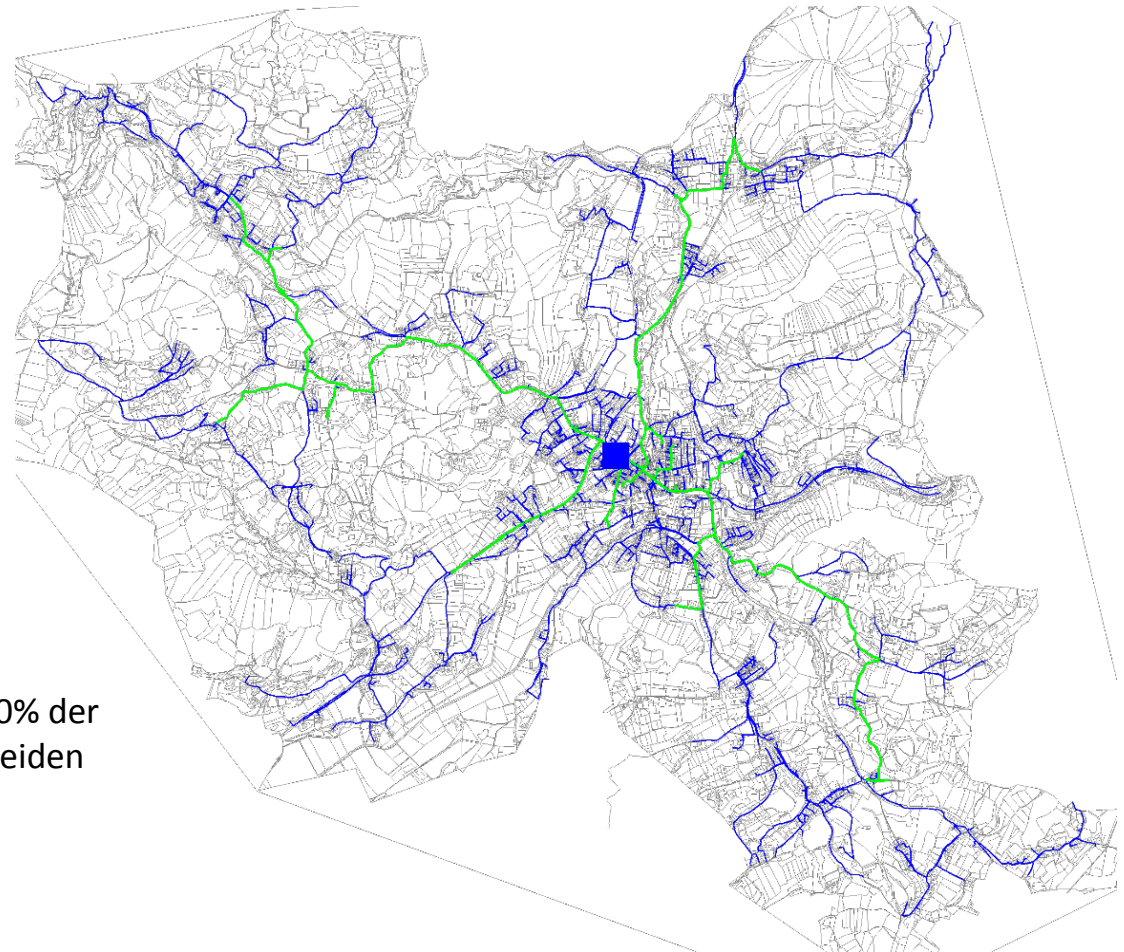
- Beispiel für Strategie GrowFromHV

$$c_{\min} = 2000000$$

... wir installieren im Amts- und Zwischen-Verteilkabelnetz Leerrohre ...

$$p = 0.7$$

... bis eine Maximallänge von 70% der Gesamtkupferlänge in diesen beiden Hierarchien erreicht wird

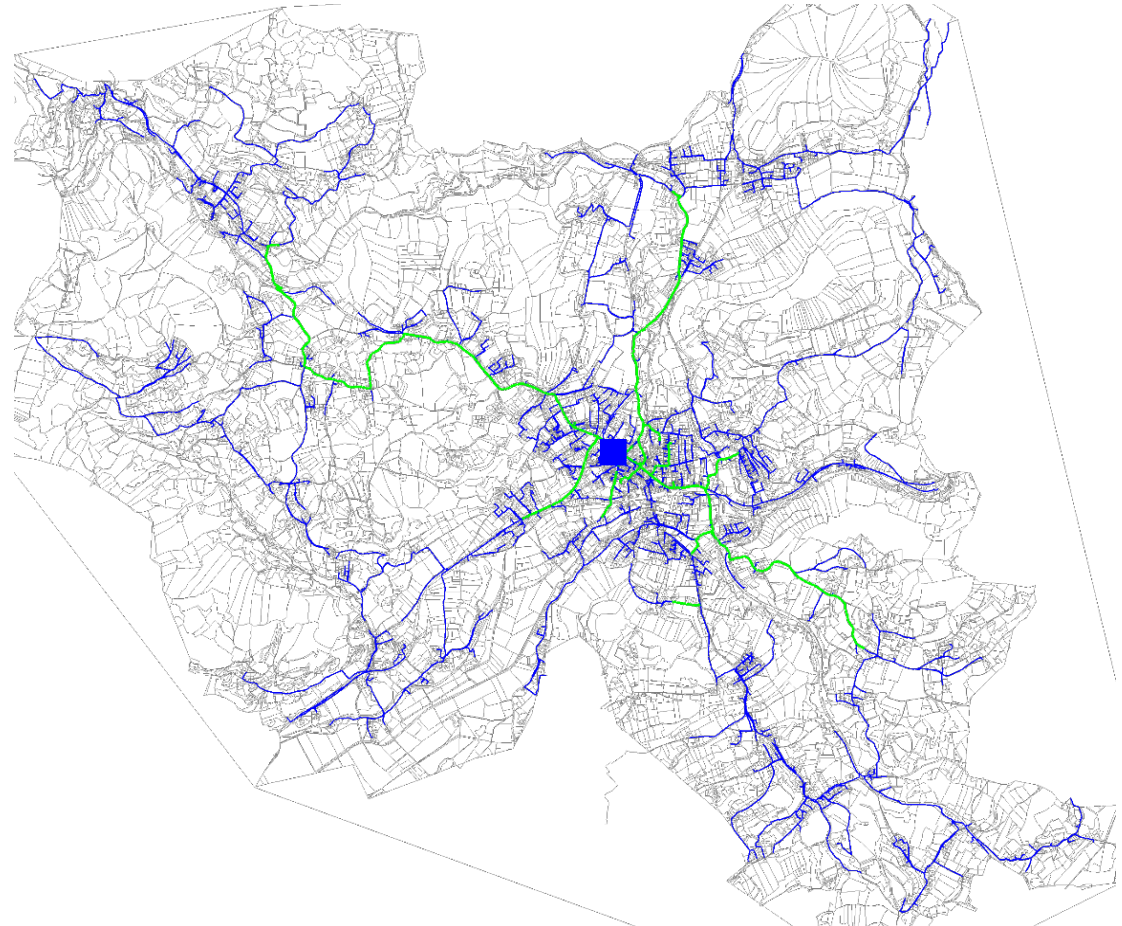


Leerrohr-Generator

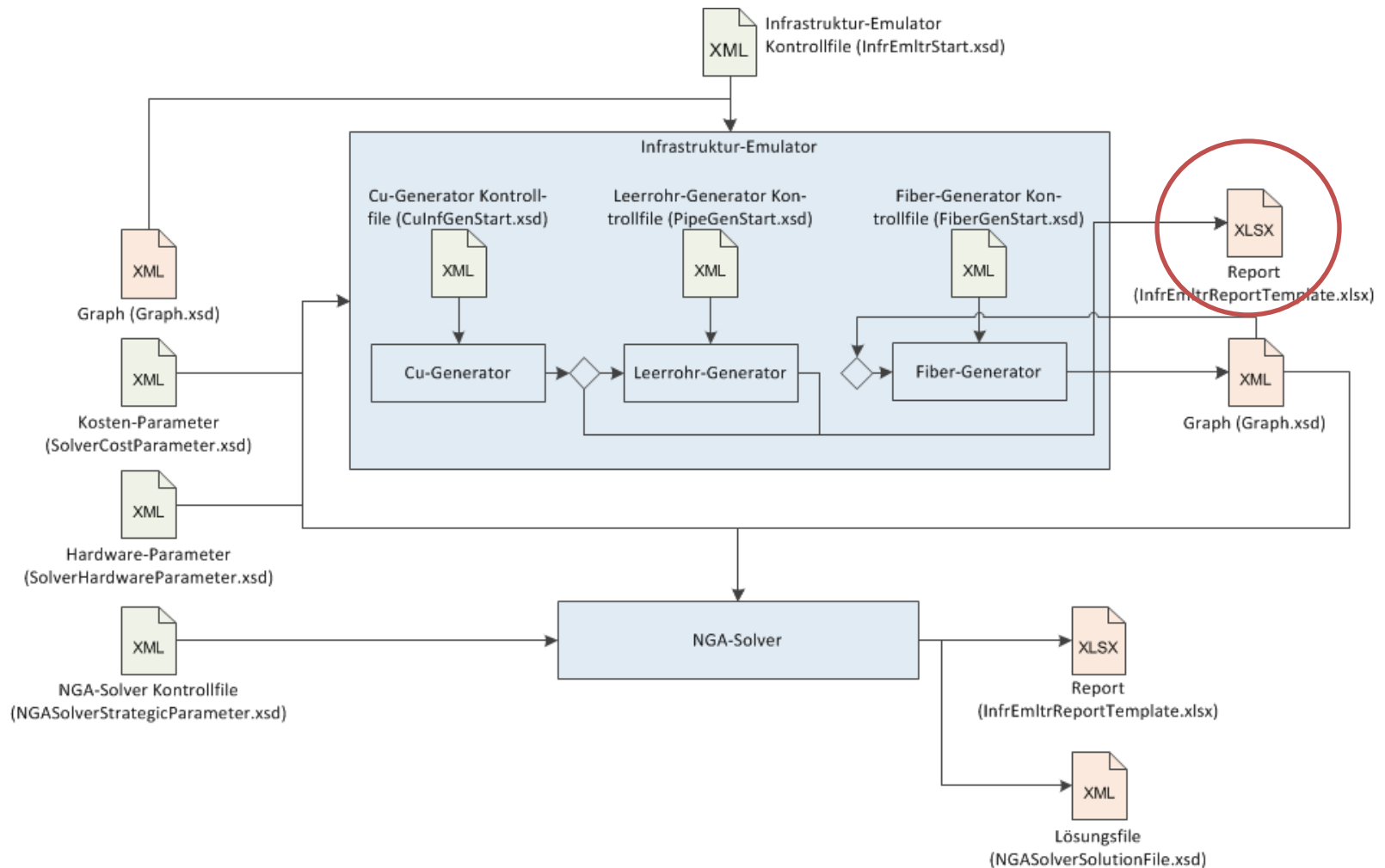
- Beispiel für Strategie TakeNrTwin Wires

$$t_{\min} = 500$$

... wir installieren auf jeder Kante, die über mindestens 500 Cu-Doppeladern verfügt, Leerrohre ...



Leerrohr-Generator - Report



Leerrohr-Generator - Report

Report Leerrohr-Generator

Inputdaten

Kupferlänge = Summe der (Eulidischen) Länge der Kanten, mit Cu-Infrastruktur top-down bis zur entsprechenden Hierarchieebene

Kupferinfrastrukturbreite einer Kante = Summe der Adern-Querschnitte (einer bestimmten Netzebenen), die auf der Kante existieren

[1] Hauptverteilerkreis

[2] End-Verteil-Kabelnetz

[3] Zwischenverteiler-Kabelnetz

[4] Amtskabelnetz

Bemerkung: [1] entspricht der Gesamtkupferlänge des Graphen

	[1]	[2]	[3]	[4]
Kupferlänge in Meter:	250.258,92	235.636,46	40.083,88	11.637,84
durchschnittliche Kupferinfrastrukturbreite einer Kante in Millimeter:	25,92	28,03	125,09	274,86

Modelltyp und -parametrierung

Modell GrowFromHV: Ausgehend vom HV werden solange Leerrohrkapazitäten entlang des Kupfernetzes emuiert, bis ein Prozentsatz der Kupferlänge erreicht wird; Kupfernetzabschnitte werden je nach Anzahl der der Kupfer-Doppeladern priorisiert.

wurde angewandt:	<input type="text" value="ja"/>	
Parameter: p=	<input type="text" value="0,70"/>	Prozent/100 der Kupferlänge
p_Cu=	<input type="text" value="0,60"/>	Prozent/100 der Kupferinfrastrukturbelegung an der Gesamtrohrkapazität; es gilt: $b_{Cu} \dots \text{Kupferinfrastrukturbreite} \rightarrow \text{Leerrohrkapazität } r = b_{Cu} * (1/p_{Cu} - 1)$
rho_max=	<input type="text" value="50,00"/>	max. Kapazität eines Standardrohres in Millimeter; Anzahl Leerrohre = Ceil($r/\text{rho_max}$)
Kupfernetz bis:	<input type="text" value="ZVnt"/>	es wird das Kupfernetz top-down bis zur entsprechenden Kupfer-Netzebene betrachtet; bestimmt damit das betrachtete Gesamt-Kupfernetz
rhoSum_max =	<input type="text" value="500,00"/>	max. Kapazität aller Leerrohre pro Kante in Millimeter

Leerrohr-Generator - Report

Modell TakeNrTwinWires: Ausgehend vom HV werden entlang des Kupfernetzes auf jenen Kanten Leerrohrkapazitäten emuliert, die über eine Mindest-Anzahl an Cu-Doppeladern besitzen

wurde angewandt:	<input type="text" value="nein"/>	
Parameter: t_min=	<input type="text"/>	Mindestanzahl an Kupfer-Doppeladern
p_Cu=	<input type="text"/>	Prozent/100 der Kupferinfrastrukturbelegung an der Gesamtrohrkapazität; es gilt: b_Cu...Kupferinfrastrukturbreite --> Leerrohrkapazität $r = b_{Cu} * (1/p_{Cu} - 1)$
rho_max=	<input type="text"/>	max. Kapazität eines Standardrohres in Millimeter; Anzahl Leerrohre = Ceil(r/rho_max)
rhoSum_max =	<input type="text"/>	max. Kapazität aller Leerrohre pro Kante in Millimeter

Modellergebnis:

[1] Leerrohrkapazität von - bis in Millimeter

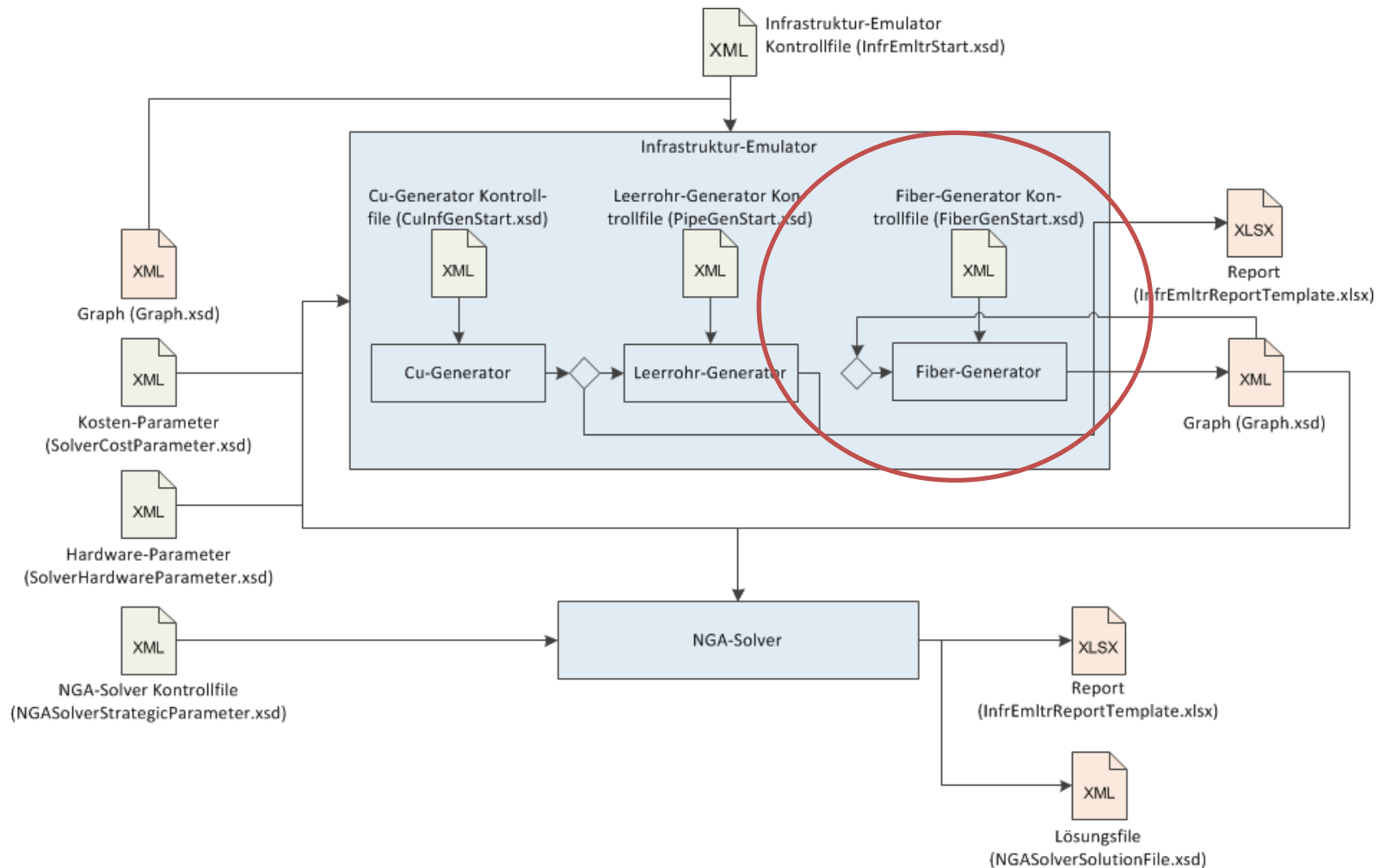
[2] Summe Kantenlängen mit entsprechender Leerrohrkapazität in Meter

[3] Prozentualer Anteil von [2] bezogen auf die Gesamtkupferlänge des Graphen

[4] durchschnittliche Distanz entlang der Kupfer-Infrastruktur zum HV in Meter

[1]	[2]	[3]	[4]
0,00 50,00	14.543,67	5,81	3.235,46
50,00 100,00	4.389,97	1,75	2.825,06
100,00 150,00	7.451,09	2,98	2.138,08
150,00 200,00	86,60	0,03	2.688,95
200,00 250,00	145,93	0,06	2.518,71
250,00 300,00	729,46	0,29	701,94
350,00 400,00	44,73	0,02	691,80
450,00 500,00	684,77	0,27	293,15

Fiber-Generator



Fiber-Generator

- NGA - Solver
- FTTb – Szenario

⇒ f_{exist}

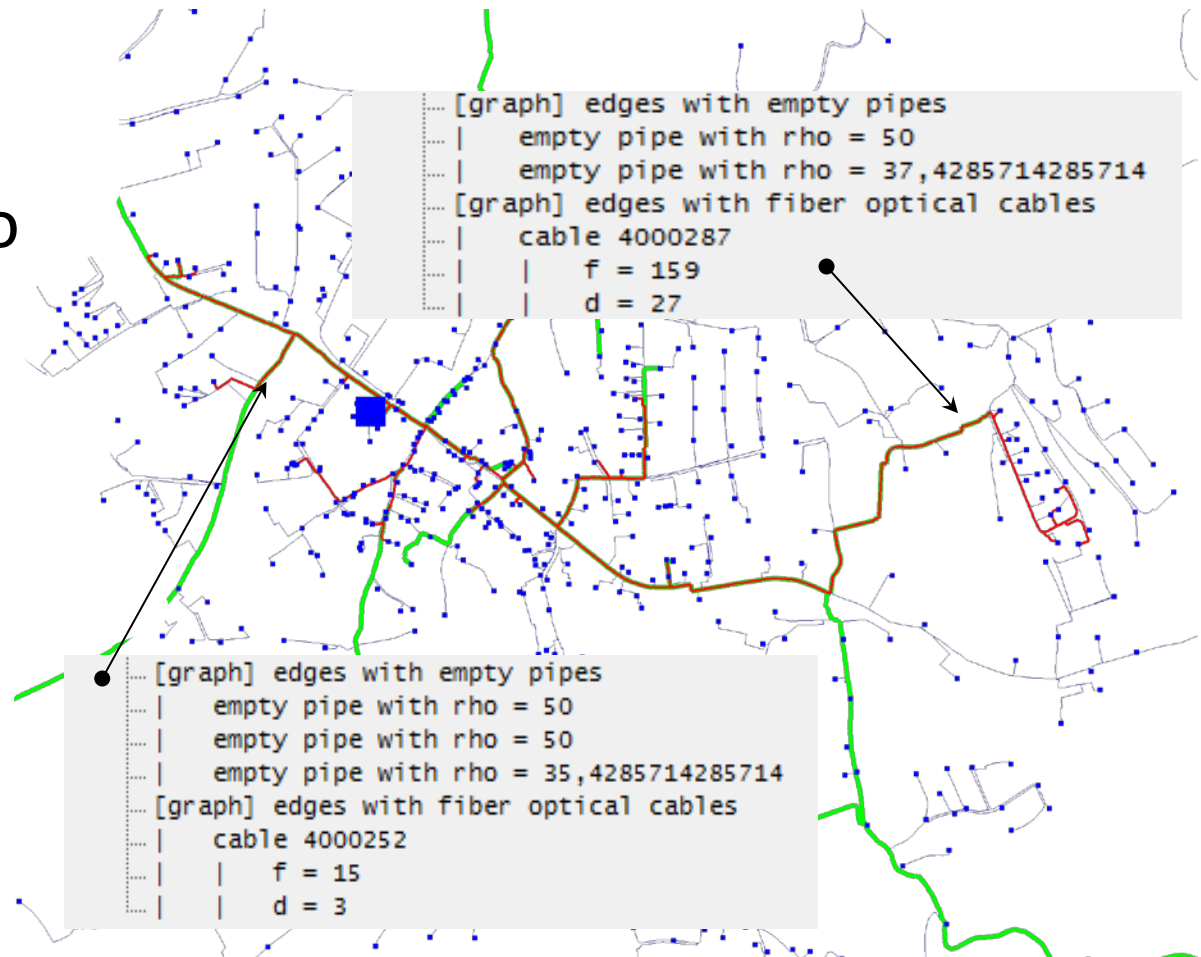
- Reservefaktor:

$r \in (0,1)$



$d = \lceil f_{exist} r \rceil$

$f = f_{exist} + d$



Fiber-Generator Report

Report Fiber-Generator

Modellparameter

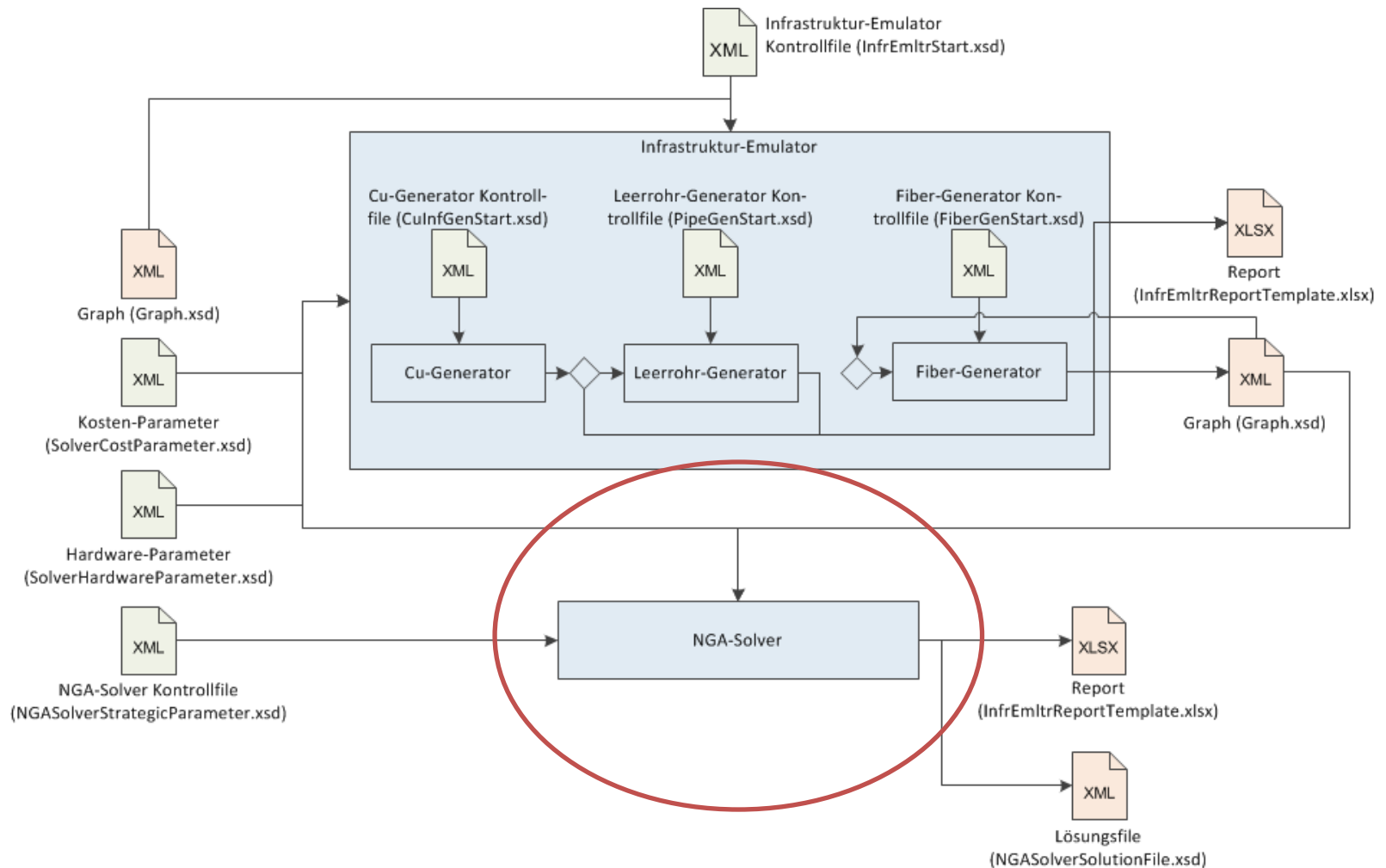
NGA Solver = max. Solver CPU Zeit = in Sekunden
 FTTB-Quota = Prozentsatz der KA, die direkt mit Glasfaser versorgt werden
 Kabel-Reserve = Prozentsatz an Reservefasern in errechneter Glasfaser-Versorgung

Modellergebnis

[1] Anzahl an nutzbaren Fasern [2] Summe Kantenlängen mit entsprechender Fasernanzahl in Meter
 [3] durchschnittliche Distanz entlang der emulierten Glasfaser-Infrastruktur bis zum HV in Meter

[1]	[2]	[3]
8	1.355,67	723,36
15	811,91	705,41
29	69,22	384,23
36	89,07	304,72
44	106,58	196,99
58	146,16	40,70

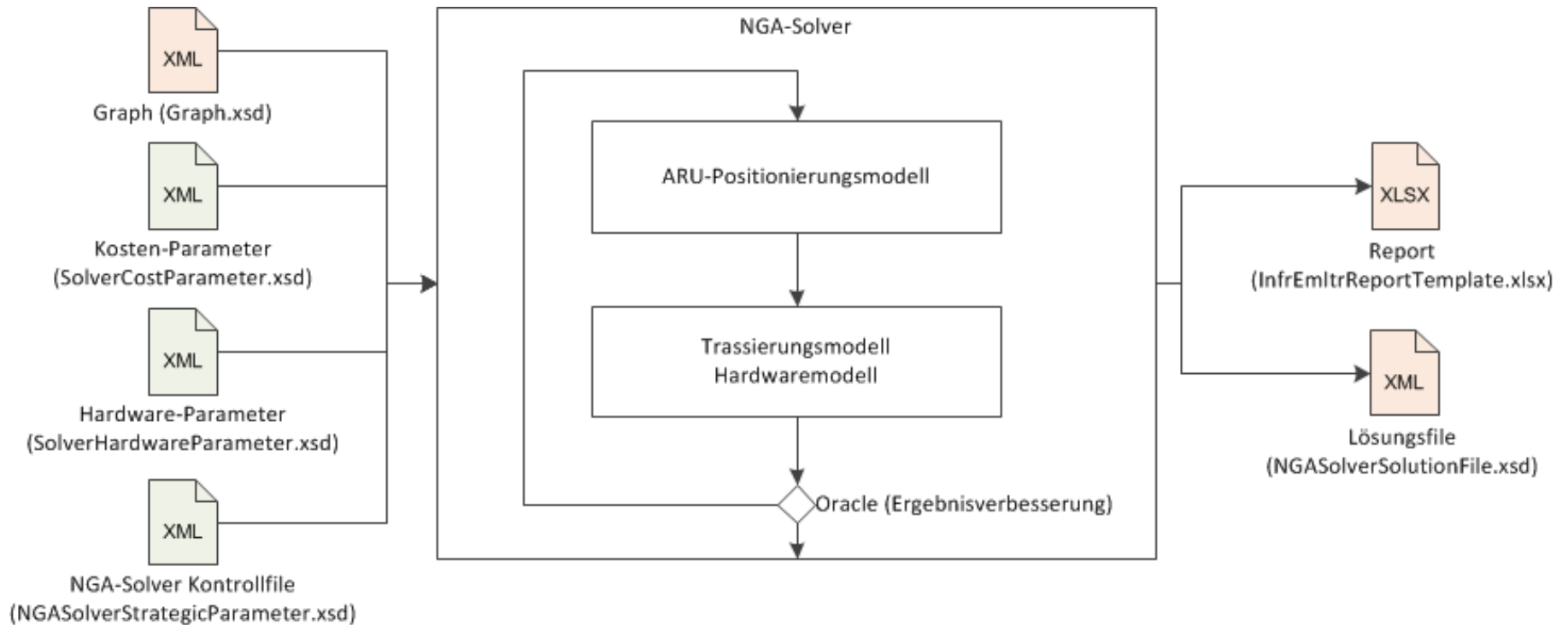
NGA-Solver



NGA-Solver

- Gegeben: Cu-Infrastruktur und optional Leerrohr- und LWL – Infrastruktur
- Bestimme:
 - Quota FTTc versorgte KA bzw. ARUs und LWL-Anbindung unter Berücksichtigung einer Mindestübertragungsqualität
 - Maximaldistanz für Cu-Versorgungspfad ARU – KA
 - Maximaldämpfung für auf Cu-Versorgungspfad ARU – KA
 - Mindestübertragungsrates ARU - KA
 - Quota FTTb versorgte KA
 - Versorgung von B2B- und BTS - Objekten

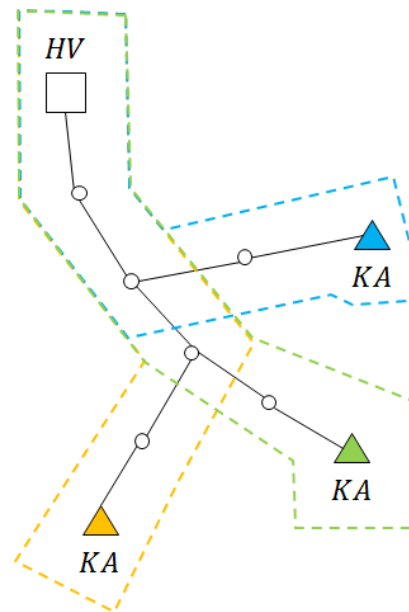
NGA-Solver



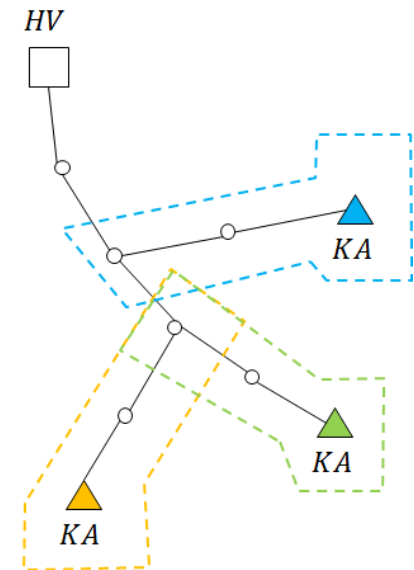
NGA–Solver

ARU - Positionierungsmodell

- Unterscheidung mögliche – und zulässige ARU – Position
- Dämpfung:
 - Adernquerschnitt
 - Leitungslänge
- Bitrate:
 - Dämpfung
 - Frequenz (ADSL, VDSL, ADSL 2+)



mögliche ARU – Positionen



zulässige ARU - Positionen

NGA–Solver

ARU - Positionierungsmodell

- Zuweisung von KAn zu zulässigen ARU – Positionen (Prinzip der Kabeldisjunktheit)
- MILP – Formulierung:

```
reference graph = 754275
possible ARU positions..
|   |M| = 40555
|   |UNION_[v in M] A(v)| = 2791
|   |UNION_[v in M] {(v,a); a in A(v)}| = 1007832
|   SUM_[a in UNION_[v in M] A(v)] pi(a) = 20420 (coverage)
dampings and transmission
|   |M*| = 34756
|   |UNION_[v in M*] A*(v)| = 2791
|   |UNION_[v in M*] {(v,a); a in A*(v)}| = 398071
|   SUM_[a in UNION_[v in M*] A*(v)] pi(a) = 20420 (coverage)
filter M* ...
|   |M*| = 34756 --> 7646
|   |UNION_[v in M*] A*(v)| = 2791 --> 2791
|   |UNION_[v in M*] {(v,a); a in A*(v)}| = 398071 --> 138659
|   SUM_[a in UNION_[v in M*] A*(v)] pi(a) = 20420 --> 20420 (coverage)
```

NGA–Solver

ARU - Positionierungsmodell

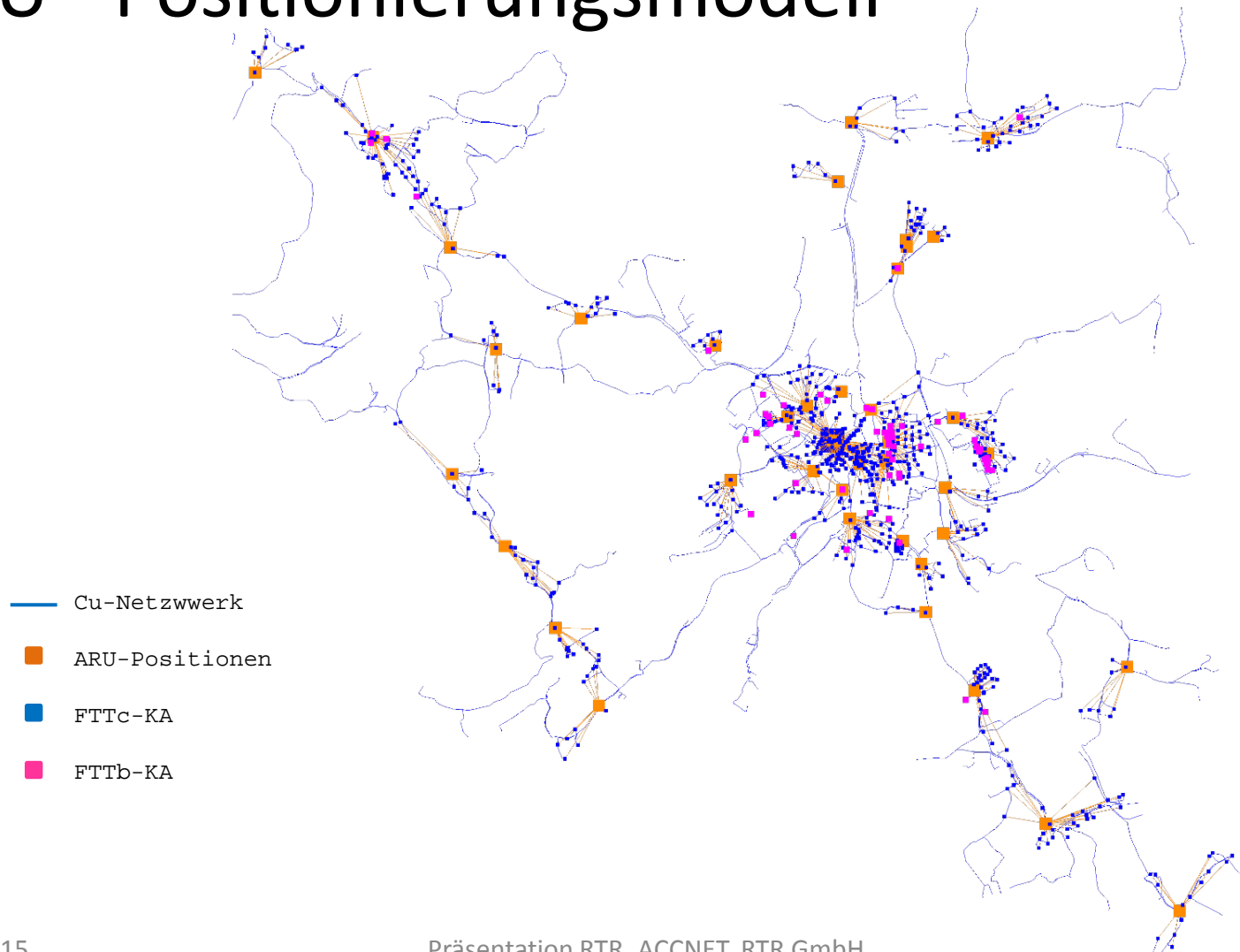
```

call ARU location model ...
initialize decision variables x, y, z and data ...
|   |x| = 7646 binaries
|   |y| = 138659 binaries
|   |z| = 1666 binaries
initialize constraints ...
|   # constraints eqn_ARUPosMdl_UniqueSupplyOfKA = 2791
|   # constraints eqn_ARUPosMdl_Quota = 1
|   # constraints eqn_ARUPosMdl_QuotaFTTb = 1
|   # constraints eqn_ARUPosMdl_MaxCapacity = 7646
|   # constraints eqn_ARUPosMdl_CouplingX = 7646
meta-heuristic over relaxed conditions eqn_ARUPosMdl_KabelDisjunktheit ...
report ARU location model solution:
|   # ARUs = 47
|   sum_[a in T] pi(a) = 14877 (FTTc quota = 72,86%)
|   sum_[a in B] pi(a) = 4084 (FTTb quota = 20,00%)
|   costs = 313592,67
|   |   sum_[a in B] c_d(a) = 115804,48
|   |   sum_[v in T] c_pos(v) = 89601,99
|   |   gamma * sum_[(v,a) in I] c_s(v,a) = 108186,20
|   |   delta * (sum_[a in T] p(a) + sum_[a in B] p(a)) = 0,00
done; elapsed time = 218,93 sec. (248,70 CPU sec.)

```

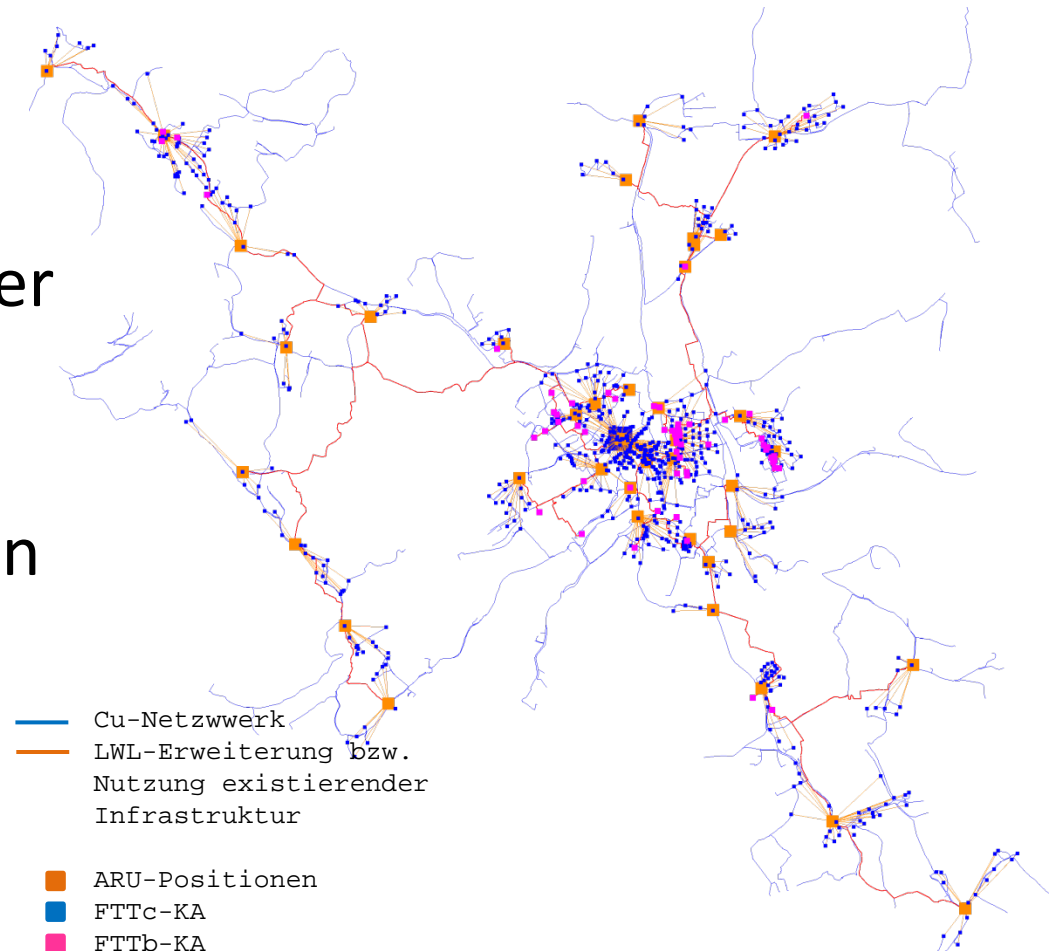
NGA-Solver

ARU - Positionierungsmodell



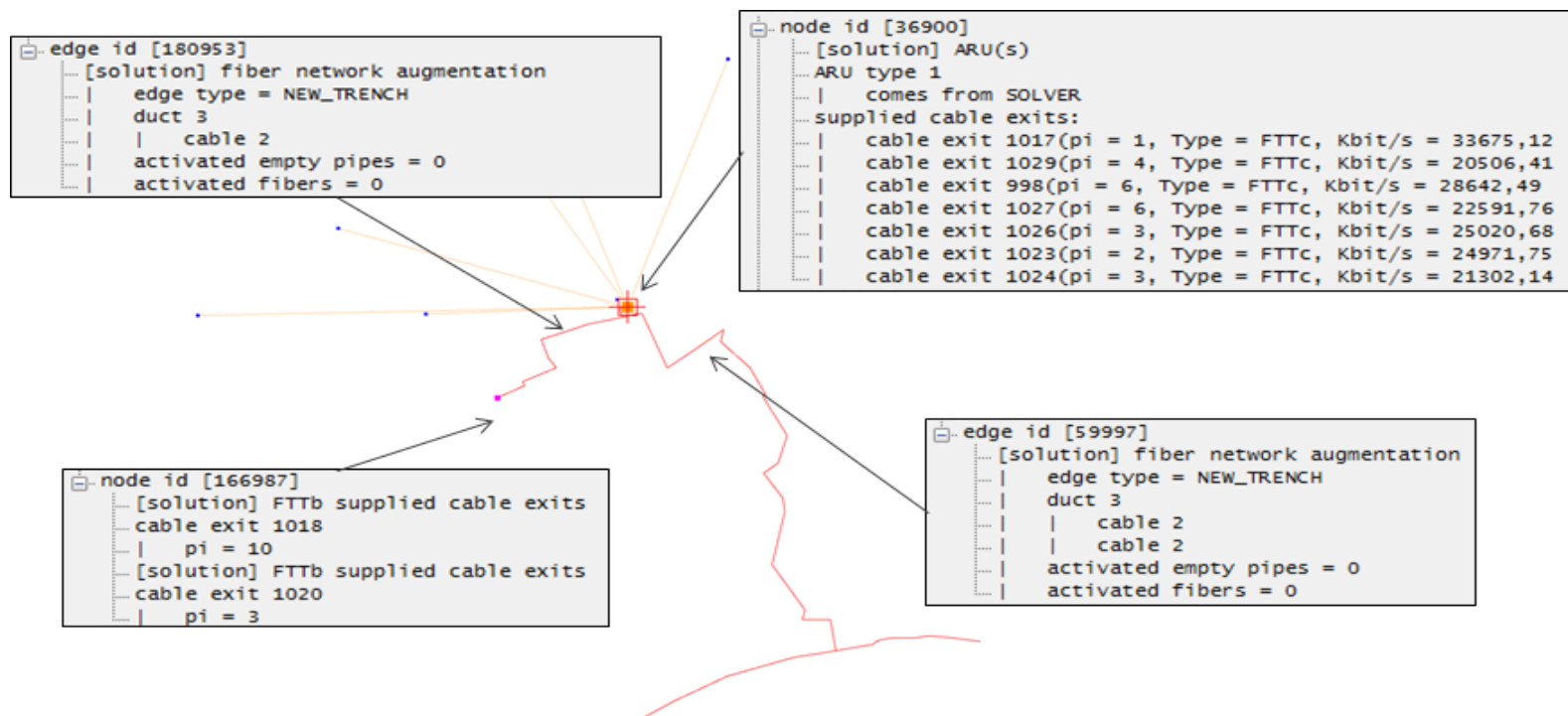
NGA–Solver Trassierungsmodell

- Steiner-Baum Problem unter Berücksichtigung der identifizierten Anschlussobjekte sowie der nutzbaren Infrastruktur

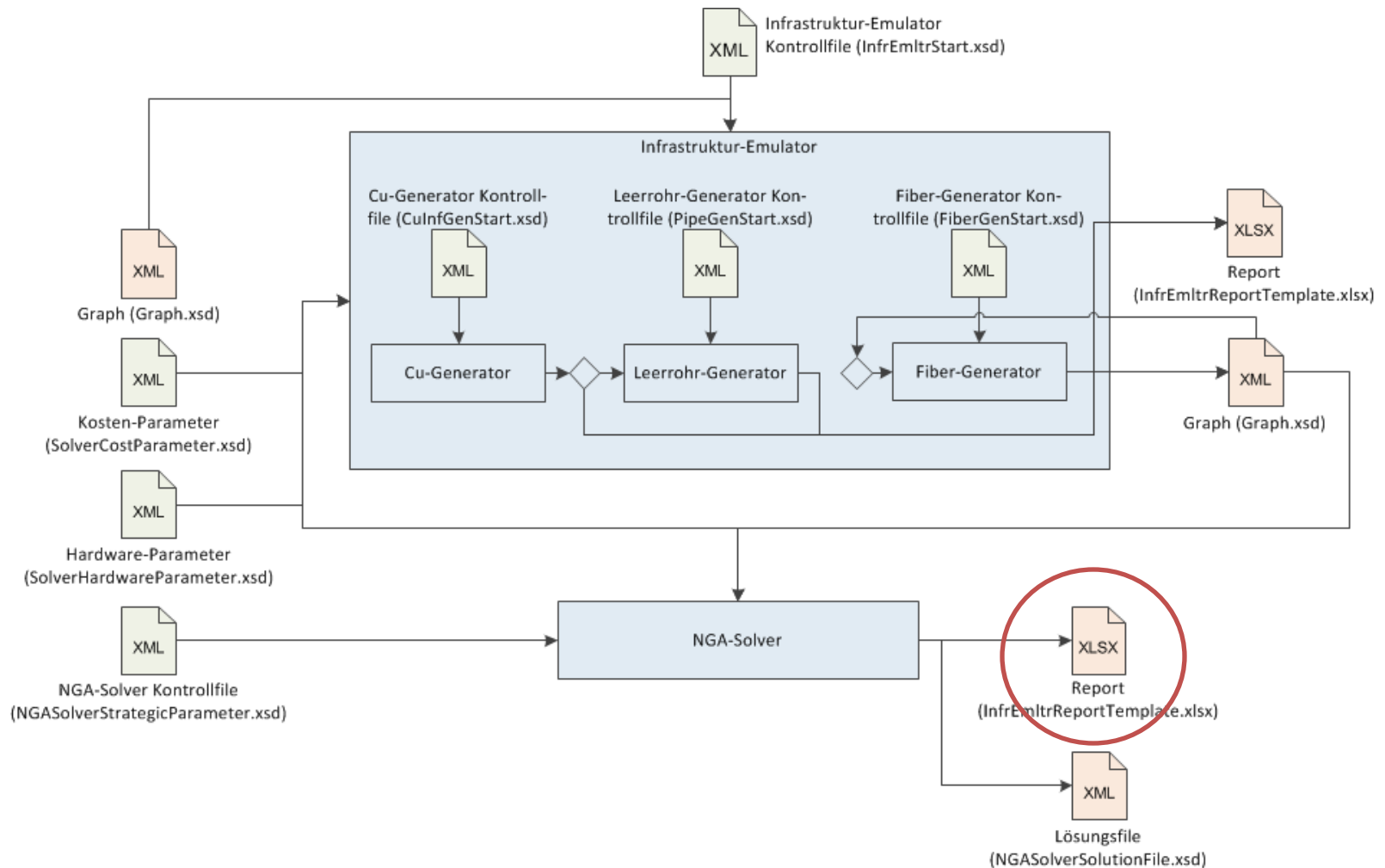


NGA–Solver Hardwaremodell

- ILP – Formulierung hinsichtlich gegebener Hardwareparameter



NGA-Solver - Report



NGA–Solver – Report

Trassierungsmodell

Parameter und Ergebnis:

Verlegelänge pro Landnutzung = Summe der Längen aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Verlegekosten pro Landnutzung = Summe der Kosten aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Gesamtverlegelänge = Summe der Längen aller Kanten, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden
 Gesamtverlegekosten = Summe der Kosten aller Kanten auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden

Landnutzungen:

[1] Verlegelänge pro Landnutzung in Meter

[2] Anteil Verlegelänge pro Landnutzung an Gesamtverlegelänge in Proze

[3] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR (Solver)

[4] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR

[5] Verlegekosten pro Landnutzung in EUR

[6] Verlegekostenanteil pro Landnutzung an Gesamtverlegekosten in Proze

Landnutzungs-kategorie	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Bauflaeche_begruent	13.364,89	27,20	58,00	58,00	775.163,90	22,94
Querung_Bauflaeche_begruent	3.414,78	6,95	58,00	58,00	198.057,13	5,86
Wald	9.669,90	19,68	58,00	58,00	560.854,18	16,60
Querung_Strassenanlage	1.374,24	2,80	167,00	167,00	229.498,67	6,79
Wiese	6.958,71	14,16	58,00	58,00	403.604,90	11,94
	:	:	:	:	:	:

Ergebnis:

Aktivierungslänge = Summe der Längen aller Kanten, auf denen bestehenden Infrastruktur (Leerrohr oder existierende Fasern), aktiviert wurde

Aktivierungskosten pro existierender Infrastruktur und Meter in EURO	Solver	Report
Leerrohr=	0,02	0,00
existierende Faser =	0,01	0,00

Gesamtverlegelänge in Meter =	49.126,69	Verlegekosten in EUR =	3.379.044,85
Aktivierungslänge Leerrohr in Meter =	5.890,10	Aktivierungskosten Leerrohr in EUR =	0,00
Aktivierungslänge existierende Fasern in Meter =	999,92	Aktivierungskosten existierende Fasern in EUR =	0,00

NGA–Solver – Report

Trassierungsmodell

FTTc-Ergebnis (Trassierungskosten für Cu-Strecken ARU - KA):

Verlegelänge pro Landnutzung = Summe der Längen aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden

Verlegekosten pro Landnutzung = Summe der Kosten aller Kanten mit entsprechender Landnutzung, auf denen Neuverlegungen durchgeführt werden

Landnutzungen:

[1] Verlegelänge pro Landnutzung in Meter

[2] Verlegekosten pro Landnutzung und Meter in EUR

[3] Verlegekosten pro Landnutzung in EUR

Landnutzungsklasse	[1]	[2]	[3]
Querung_Bauflaeche_begruent	18.862,59	58,00	1.094.029,99
Bauflaeche_begruent	68.768,56	58,00	3.988.576,38
Strassenanlage	6.330,42	167,00	1.057.180,10
Bauflaeche_befestigt	1.189,46	167,00	198.639,20
Querung_Strassenanlage	8.843,46	167,00	1.476.858,60
:	:	:	:
Streuwiese	1.263,89	58,00	73.305,60
Querung_Unbekannt	1.755,88	500,00	877.940,70
Unbekannt	273,02	500,00	136.508,57
Querung_Streuwiese	60,08	58,00	3.484,85

Gesamtverlegelänge in Meter =

250.079,83

Verlegekosten in EUR =

20.689.509,82

NGA-Solver – Report

Hardwaremodell

Parameter und Ergebnisse

ARU's

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	6	192	20.800,00	20.800,00	ja	keine Einschränkung	22	457.600,00
2	12	384	27.000,00	27.000,00	ja	keine Einschränkung	1	27.000,00
3	18	576	40.400,00	40.400,00	ja	keine Einschränkung	0	0,00
4	20	1500	136.500,00	136.500,00	nein	keine Einschränkung	0	0,00
Gesamtkosten ARUs =								484.600,00

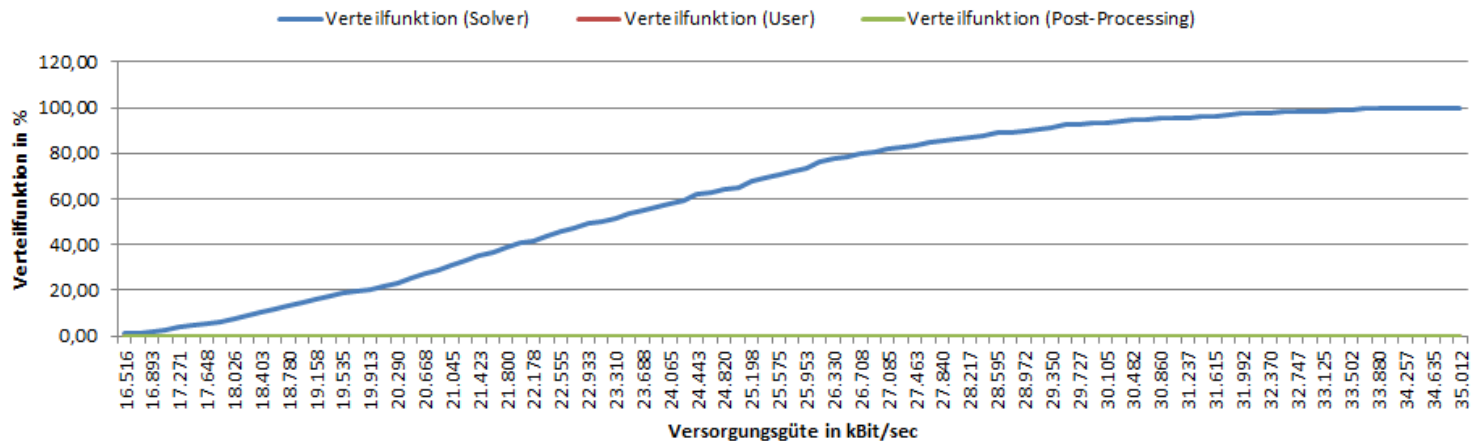
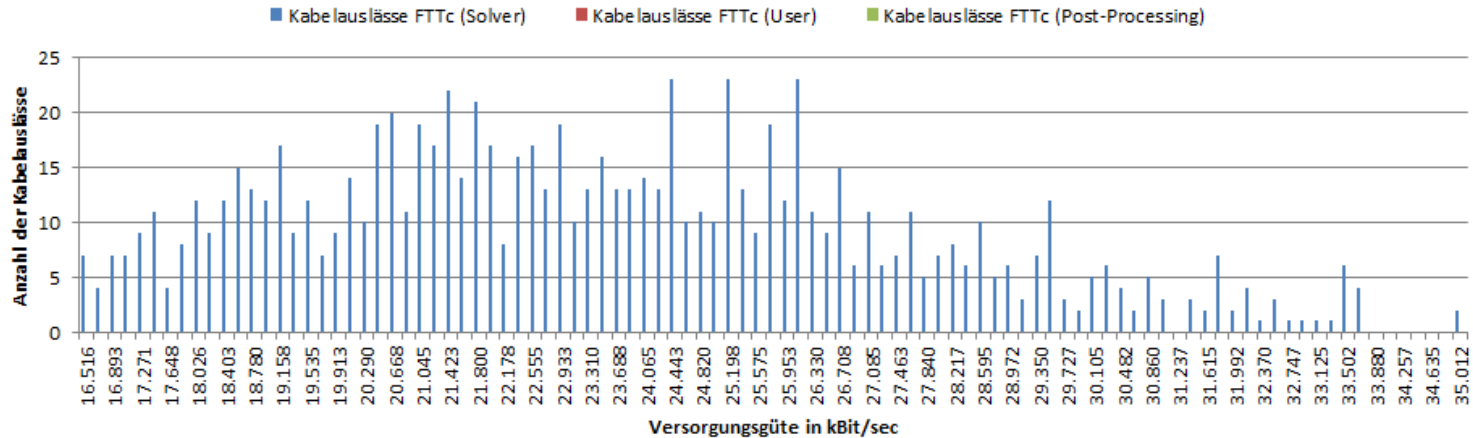
Anschlussobjekte

FTTc-Versorgungsgüte ARU: Kabelauslässe werden über ARUs derart versorgt, dass eine **minimale** **Bitrate** von **16.384,00** **kBit/sec** nicht **unter** -schritten wird.

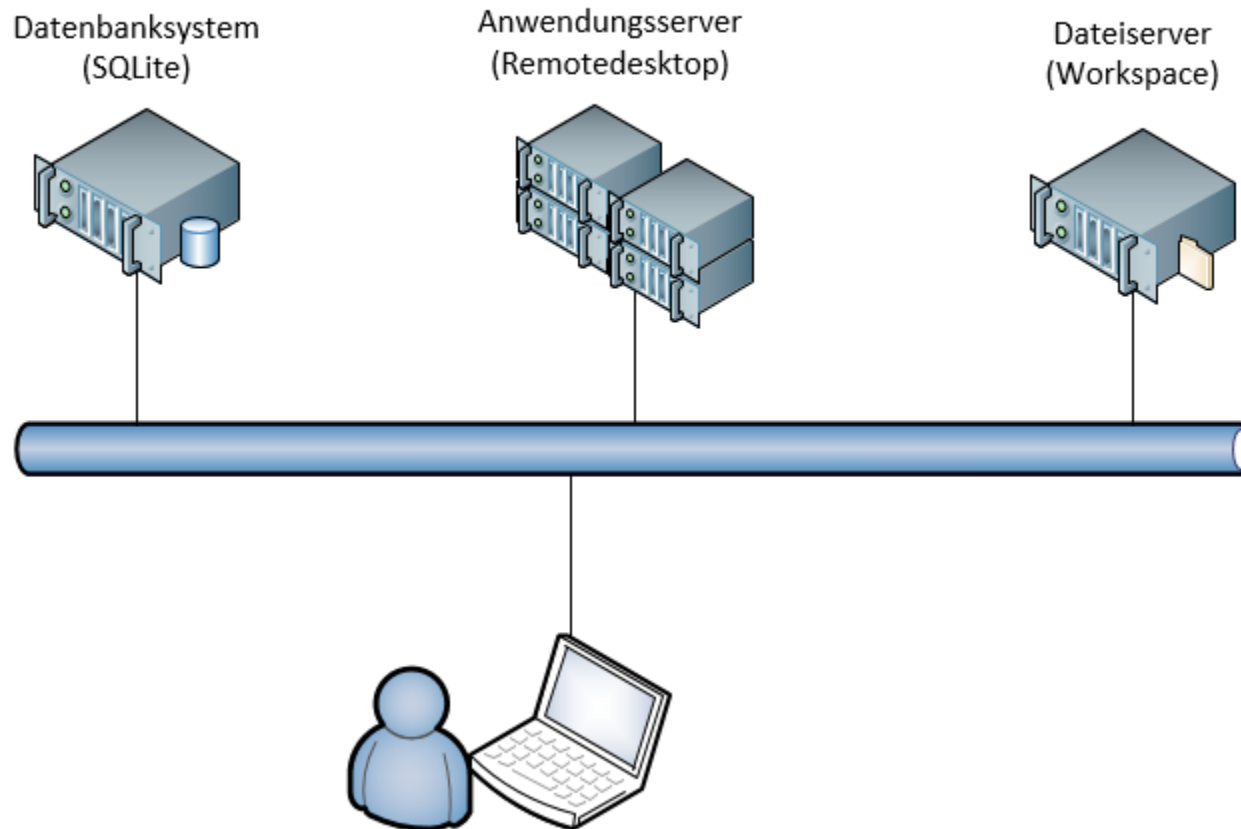
FTTc-Versorgungsgüte Hauptverteiler: Kabelauslässe werden vom HV derart versorgt, dass eine **maximale** **Dämpfung** von **7,00** **dB** nicht **über** -schritten wird.

Kabelauslässe FTTc-versorgt =	795	(in Prozent	58,50	%)	
Potentielle Einheiten FTTc-versorgt =	2.256	(in Prozent	70,54	%, angestrebt waren	70,00 %)
Kabelauslässe FTTb-versorgt =	70	(in Prozent	5,15	%)	
Potentielle Einheiten FTTb-versorgt =	322	(in Prozent	10,07	%, angestrebt waren	10,00 %)
Anzahl der versorgten BTS-Objekte=	3	(mit jeweils	6	Fasern pro Objekt)	(in Prozent 100,00 %)
Anzahl der versorgten B2B-Objekte =	0	(mit jeweils	6	Fasern pro Objekt)	(in Prozent 100,00 %)

NGA-Solver – Report Hardwaremodell



Systemintegration



User-Interaktion

